

Ю.Ф. Мухопад¹, А.Ю. Мухопад¹, Н.Г.Мудрая¹

¹ *Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

ДВОИЧНОЕ НЕПОЗИЦИОННОЕ КОДИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ УПРАВЛЯЮЩИХ АВТОМАТОВ

Аннотация. Рассмотрены вопросы реализации встроенных средств динамического контроля управляющих автоматов (УА) различной степени сложности. Предложен способ контроля на основе новых двоичных непозиционных кодов (ДНК), не имеющих комбинаций «11» в каждой паре разрядов кодов состояний УА. Показано, что применение ДНК в простых автоматах Мура с малым числом логических условий ($q \leq 6$) и числом разрядов кодов состояний $m \leq 4$ при унитарном кодировании состояний реализуется через элементы «И» для фиксации комбинации «11». Для такой структуры УА граф-схема алгоритма управления (ГСА) должна быть преобразована через введение в отдельные ветви ГСА пустых операторов с целью ликвидации петель и разделения непрерывной последовательности логических условий. Для более сложных УА предложено осуществлять самоконтроль через коды ДНК с использованием УА с оригинальной структурной организацией, в который введен мультиплексор выбора одного логического условия для каждого периода функционирования УА. Рассмотрено изменение структурной организации также оригинального УА с логическим блоком из (q) элементов «И», адресуемых независимым от операторов действия подмножеством выходов дешифратора состояний, соответствующих логическим операторам. На сегодня это наиболее простой вариант реализации самоконтролируемых УА с кодами ДНК.

Ключевые слова: Управление, алгоритм, автомат, комбинационная схема, самоконтроль автоматов, двоичные непозиционные коды.

A BINARY NON-POSITIONAL ENCODING OF STATES CONTROL AUTOMATON

Yu.F. Mukhopad¹, A. Yu. Mukhopad¹, N.G. Mudraya¹

¹ *Irkutsk State Transport University, Russian Federation*

Abstract. Questions of implementation of the built-in means of dynamic control of control automata (UA) of various degree of complexity are considered. A method of control based on new binary non-positional codes (DNA), which do not have combinations of "11" in each pair of bits of the state codes of UA, is proposed. It is shown that the use of DNA in simple Moore automata with a small number of logical conditions ($q \leq 6$) and the number of bits of state codes $m \leq 4$ in unitary state coding is realized through the elements "And" to fix the combination "11". For such a structure, THE graph-scheme of the control algorithm (GSA) must be transformed through the introduction of empty operators into separate branches of the GSA in order to eliminate loops and separate a continuous sequence of logical conditions. For more complex UA, it is proposed to carry out self-control through DNA codes using a UA with an original structural organization, in which a multiplexer is introduced to select one logical condition for each period of functioning of the UA. A change in the structural organization of the original UA with a logical block of (q) elements "And" addressed by a subset of outputs of the state decoder independent of the action operators corresponding to the logical operators is considered. Today, this is the easiest way to implement self-controlled UA with DNA codes.

Key words: Control, algorithm, automaton, combinational scheme, self-control of automata, binary non-positional codes.

Введение

В управляющих автоматах (УА) сложных технических систем (СТС) реального времени используется в основном структурная организация Мура (УАМ_r) и Мили УАМ_L) с представлением предыдущего $a(t)$ и последующего $a(t+1)$ состояний двоичными позиционными кодами (ДПК) рис. 1.

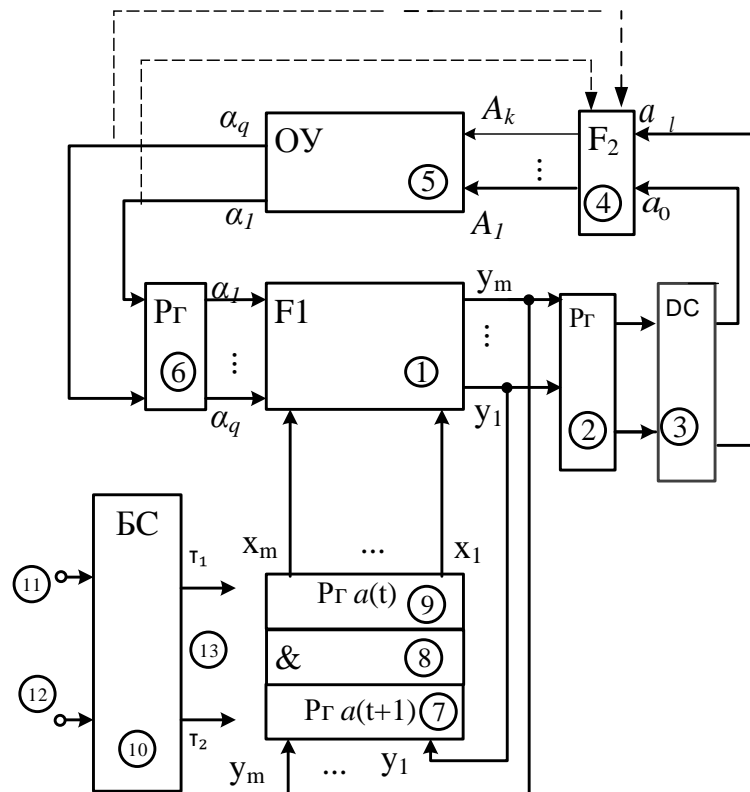


Рис. 1 Структурная организация автомата Мура (YAMr) и Мили (YAMl)
пунктирные связи относятся только к YAMl

Динамический контроль таких УА реализуется обычно с использованием корректирующих кодов Хэмминга, Бергера и др.[1-9]. При использовании кодов Хэмминга встроенные средства самоконтроля сложнее самого УА, т.к. схема переходов $F_1(1)$ при реализации на ПЗУ имеет объем $V = m2^{m+q}$, где m –разрядность кодов состояний, q – количество логических условий $\alpha_1 \dots \alpha_q$.

Имеются предложения использовать непозиционные коды Грея, но аппаратная реализация такого способа контроля весьма сложна [10].

1.Контроль с двоичными непозиционными кодами

Эффективно реализуется контроль УА с использованием кодов с фиксированным числом единиц, обозначаемых как kCn , т.е. k единиц в n -разрядном коде [11]. Однако количество разрядов n кодов состояний при этом существенно увеличивается. Поэтому в работе [12] предложено представлять коды $a(t) - x_1x_2 \dots x_m$ и $a(t+1) - y_1y_2 \dots y_m$ конкатенацией двух кодов, например $2C5,2C5$ или $2C5,3C7$. Контроль УА в этом случае сводится к определениям того, что в каждой половине сводного кода ровно k единиц. Такая комбинационная схема также сложна, т.к. эти k единиц расположены произвольно среди всех разрядов кода kCn .

В работах [8,13] предложен особый тип кодов с фиксированным числом единиц, названный кодом pCn , т.е. p трехразрядных групп в n разрядах. Причем в каждой группе используется код с одной единицей в трех разрядах $a.b.c$. Тогда двухразрядные комбинации ДПК представляются трехразрядной группой в виде: 00-001, 01 -010, 10 – 100. Комбинация 11 не используется, но ей соответствует изменение кода в более старшей группе. Коды pCn приведены в таблице 1.

Двоичные непозиционные коды

Код 3С9		Двоичный непозиционный код	
№	pCn	ДНК	№
0	001.001.001	00.00.00	0
1	001.001.010	00.00.01	1
2	001.001.100	00.00.10	2
3	001.010.001	00.01.01	4
4	001.010.010	00.01.01	5
5	001.010.100	00.01.10	6
6	001.100.001	00.10.00	8
7	001.100.010	00.10.01	9
8	001.100.100	00.10.10	10
9	010.001.001	01.00.00	16
10	010.001.010	01.00.01	17
11	010.001.100	01.00.10	18
12	010.010.001	01.01.00	20
13	010.010.010	01.01.01	21
14	010.010.100	01.01.10	22
15	100.001.001	10.00.00	32
16	100.001.010	10.00.01	33
17	100.001.100	10.00.10	34
1	2	3	4

Для контроля УА от кода pCn целесообразно перейти к двоичному непозиционному коду (ДНК) через обратное преобразование: 001 - 00, 010 - 01, 100 - 10. В столбцах 1 и 4 табл.1 приведено соответствие кода ДНК каждому десятичному номеру.

В УА с таким способом контроля существенно упрощается аппаратная реализация встроенных средств контроля, т.к. в случае ошибки в паре разрядов может появиться комбинация 11.

Структура УА с таким способом самоконтроля проста, но если использовать преобразование заданной граф схемы алгоритма управления (рис.2) и перейти к унитарному кодированию состояний, то объем схемы $F_1(1)$ может быть снижен в десятки раз.

Преобразование граф схемы алгоритма (ГСА) управления осуществляется за счет ввода пустых операторов:

-- для ликвидации петель, если после проверки $\alpha_j \in \{\alpha\}$ осуществляется возврат к тому же состоянию a(t);

-- если между α_i и α_j нет операторов действия $A_1 \dots A_k$;

-- если к $\alpha_j \in \{\alpha\}$ передается управление от нескольких других операторов.

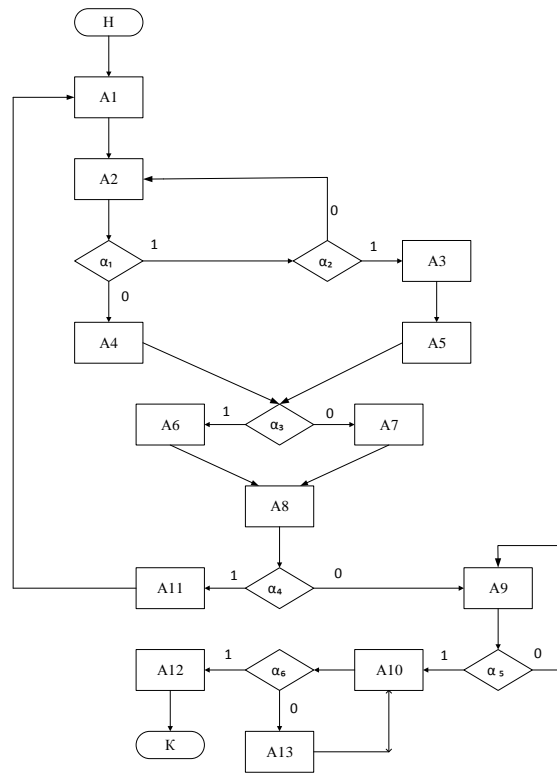


Рис.2 Граф-схема алгоритма управления

На рис.3 приведена ГСА с введенными пустыми операторами. По ГСА рис.3 получен граф переходов УА – рис. 4.

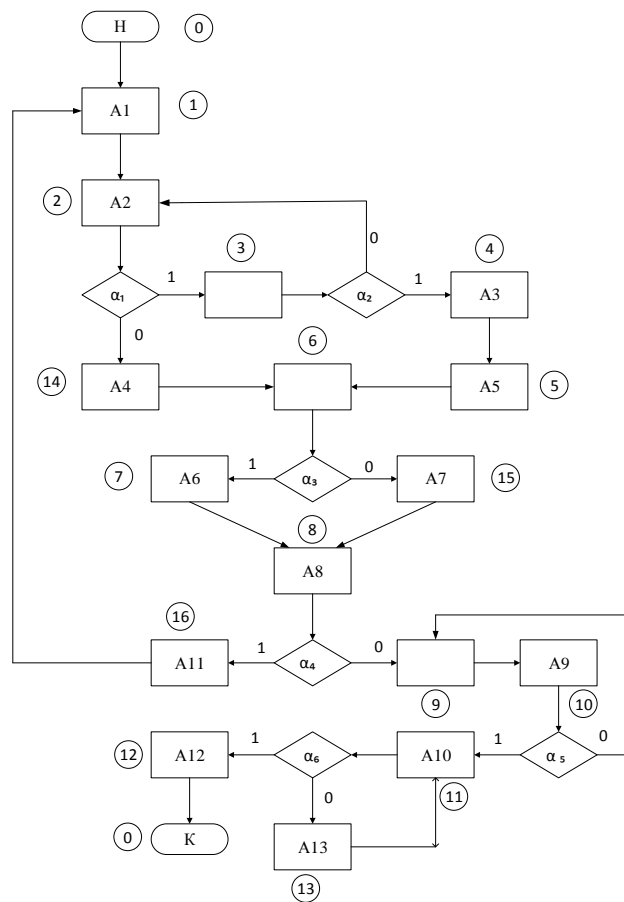


Рис.3. Граф-схема алгоритма с пустыми операторами

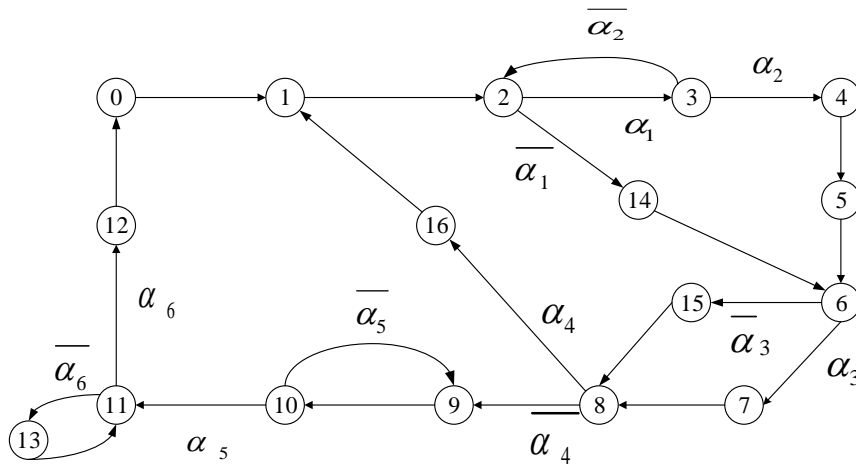


Рис.4 Граф переходов

2. Контроль управляющих автоматов с оригинальной структурной организацией

В работах [14,15] предложена оригинальная структурная организация УА с мультиплексором и схемой адресации УАМх (рис.5), в которой для каждого периода T к схеме $F_1(1)$ подается только одно $\alpha_j \in \{\alpha\}$ (таблица 2).

Таблица 2

Выбор логических условий						
α	1	2	3	4	5	6
a(t)	2	3	6	8	10	11

Аббревиатура УАМх соответствует УА Мухопادا, названных так по аналогии с УА Глушкова, Маркова, Мили, Мура, Рабина-Скотта, Уилкса и др.

Тогда новый объем W ПЗУ определится как $W = m2^{m+1}$, т.е. снизится в 2^{q-1} раз. Соответственно упрощается и самоконтроль такого УА.

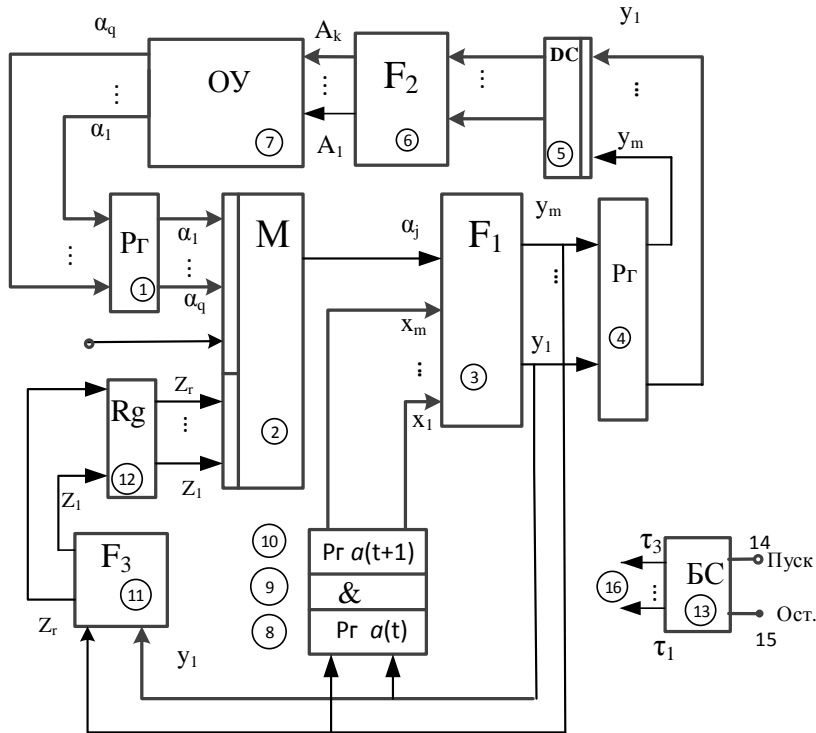


Рис.5 Управляющий автомат с мультиплексором (УАМх)

Оказывается, что по новому графу переходов можно существенно упростить реализацию $F_1(1)$ даже со структурой УАМг, если использовать унитарное кодирование состояний и счетчик вместо регистра памяти состояний. Самоконтроль такого УАМг при использовании двоичных непозиционных кодов просто реализуется, если в структур УАМг ввести шифратор (кодер) для перевода ДНК в ДПК (рис.6). И хотя на вход $F_1(1)$ также как и в УАМг подается полное множество $\alpha_1 \dots \alpha_q$, но выбор одного $\alpha_j \in \{\alpha\}$ производится через второй дешифратор (DC(10)). В этом случае нет необходимости в ПЗУ, мультиплексоре и схеме адресации, т.к. $F_1(1)$ реализуется специализированной программируемой логической матрицей (ПЛМ) в виде набора двухвходовых элементов «И» и элементов «ИЛИ» для формирования выходного кода $y_1 y_2 \dots y_m$.

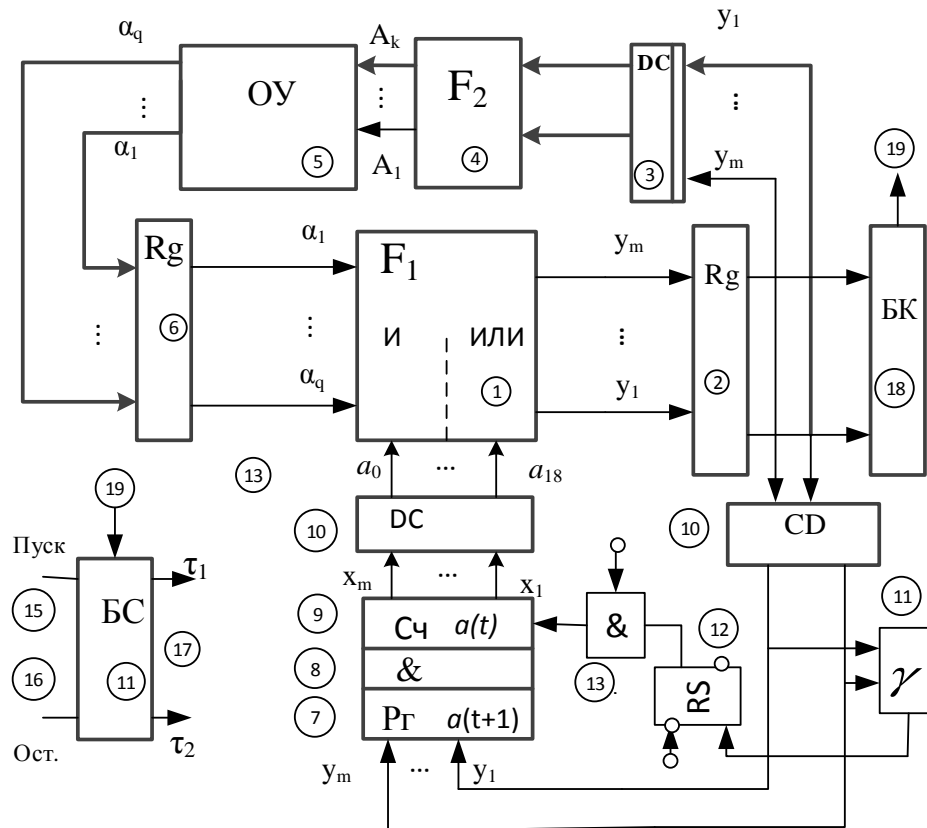


Рис.6. Самоконтролируемый автомат

Переходы вне счетчика УАМг с кодом ДНК представлены в табл.3.

Таблица 3

Таблица переходов УА с ДНК

№	a(t)	N(t)	α	a(t+1)	N(t+1)
1	3	00.01.00	$\overline{\alpha_2}$	2	00.00.01
2	2	00.00.01	$\overline{\alpha_1}$	14	01.01.10
3	14	01.01.10.	-	6	00.10.00
4	6	00.10.00	$\overline{\alpha_3}$	15	10.00.00
5	15	10.00.00.	-	8	00.10.10
6	8	00.10.10	$\overline{\alpha_4}$	16	10.00.01
7	16	10.00.01	-	1	00.00.01
8	10	01.00.01	$\overline{\alpha_5}$	9	01.00.00.
9	11	01.00.10	$\overline{\alpha_6}$	13	01.01.01
10	13	01.01.01	-	11	01.00.10

29 Условие γ прибавления «1» к содержимому счетчика по графу рис.3 запишется в виде: $\gamma = \alpha(a_0 + \dots + a_9 + a_{11})$. По карте Карно рис. 7 значения γ определится после минимизации как $\gamma = \overline{y_4} + \overline{y_3}$.

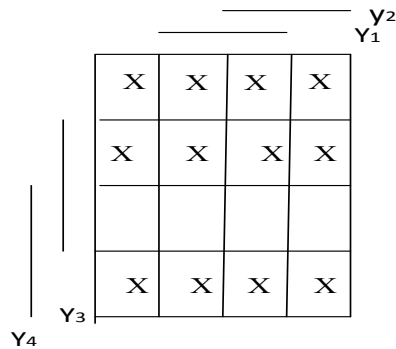


Рис.7. Карта Карно для признака γ

Уравнения для определения разрядов $y_1 \dots y_5$ кода ДНК запишутся в виде:

$$\begin{aligned} y_1 &= \overline{\alpha_2} a_3 + \overline{\alpha_4} a_8 + a_{16} + \overline{\alpha_6} a_{11} & y_2 &= \overline{\alpha_1} a_2 + a_{15} + a_{13} \\ y_3 &= \overline{\alpha_1} a_2 + \overline{\alpha_6} a_{11} & y_4 &= a_{14} + a_{15} \\ y_5 &= \overline{\alpha_1} a_2 + \overline{\alpha_6} a_{11} + a_{13} + \overline{\alpha_5} a_{10} & y_6 &= \overline{\alpha_3} a_6 + \overline{\alpha_4} a_8 \end{aligned}$$

Реализация такой схемы $F_1(1)$ тривиальна и требует всего шесть двухвходовых элементов «И», три двухвходовых и три четырехвходовых элементов «ИЛИ».

Таким образом, использование предложенных непозиционных кодов (ДНК) для представления состояний дает возможность создавать самоконтролируемые УА с минимальными затратами оборудования.

Однако УАМг с ДНК (рис.6) целесообразно использовать лишь при простых ГСА с малым числом логических условий и состояний при $n = m+q \leq 32$. При больших значениях n увеличивается сложность DC(10) и количество входов схемы $F_1(1)$.

Для более сложных УА можно перейти к оригинальной структуре автоматов Мухопода (УАМх), но с кодами ДНК. На схему $F_1(1)$ УАМх подается всего одно $\alpha_j \in \{\alpha\}$ через мультиплексор со схемой адресации $F_3(11)$ (Табл. 2). Тогда объем ПЗУ для $F_1(1)$ равен $W = m2^{m+1}$.

В работе [16] УА разделяются на сверхпростые (СП), простые (ПА), средней сложности (СА), сложные (АС), высокой сложности (ВС), особо сложные (ОС) и ультрасложные (УС) автоматы. В табл. 4 проведена сравнительная оценка затрат на ПЗУ с реальной разрядностью $m_p = 4$ или 8.

Как видно из таблицы 4 снижение затрат определяется коэффициентом $Q = V/W$ и может составлять десятки, сотни и даже тысячи раз в зависимости от сложности УА. В таблице также приведен коэффициент $K = (m+q)/(m+1)$. K – определяет снижение сложности ПЛМ, реализующей схему переходов.

Такие же затраты W требуются на реализацию $F_1(1)$ и для УА нового типа (НУАМх), структурная организация которых представлена на рис. 8 [17,18].

Таблица 4

Характеристики управляющих автоматов										
№	Тип	m	q	m+q	m+1	V	W	K	m_p	Q
1	СП	3	3	6	4	256	64	1,5	4	4
2	ПА	4	6	10	5	2кб	256	2,0	4	8
3	СА	5	9	14	6	128кб	512	2,3	8	256

4	AC	6	12	18	7	2Мб	1кб	2,6	8	$2*10^3$
5	BC	7	15	22	8	32Мб	2кб	2,7	8	$16*10^3$
6	OC	8	18	26	9	0,5Гб	4кб	2,9	8	$12*10^4$
7	YC	9	21	30	10	12Гб	12кб	3	12	$1*10^6$

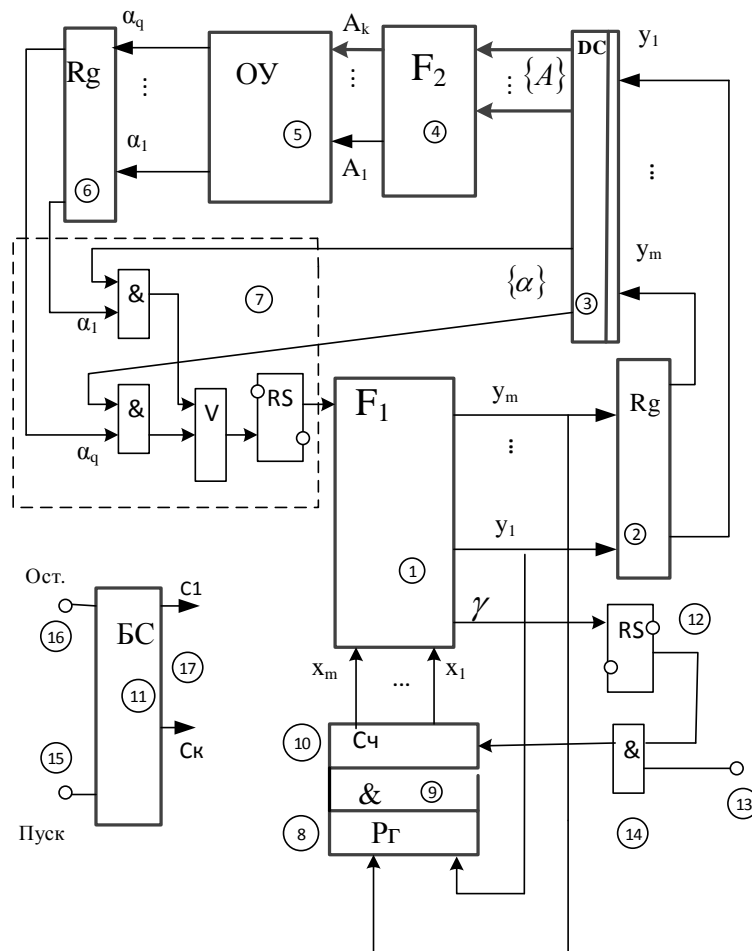


Рис.8. Управляющий автомат нового типа (НУАМх)

По сравнению с УАМг в НУАМх введен логический блок ЛБ(7) из q двухвходовых элементов «И», одного элемента «ИЛИ» и одного RS-триггера. Адресация $\alpha_j \in \{\alpha\}$ производится через подмножество выходов $\{\alpha\}$ дешифратора DC (3), независимое от подмножества $\{A\}$ выбора операторов действия $A_1 \dots A_k$.

Такая организация НУАМх стала возможной за счет нового определения состояний через начало (вход) как операторов действия, так и логических операторов [19].

На рис. 9 представлена ГСА с новым типом разметки, по которой получены таблицы 5 и 6.

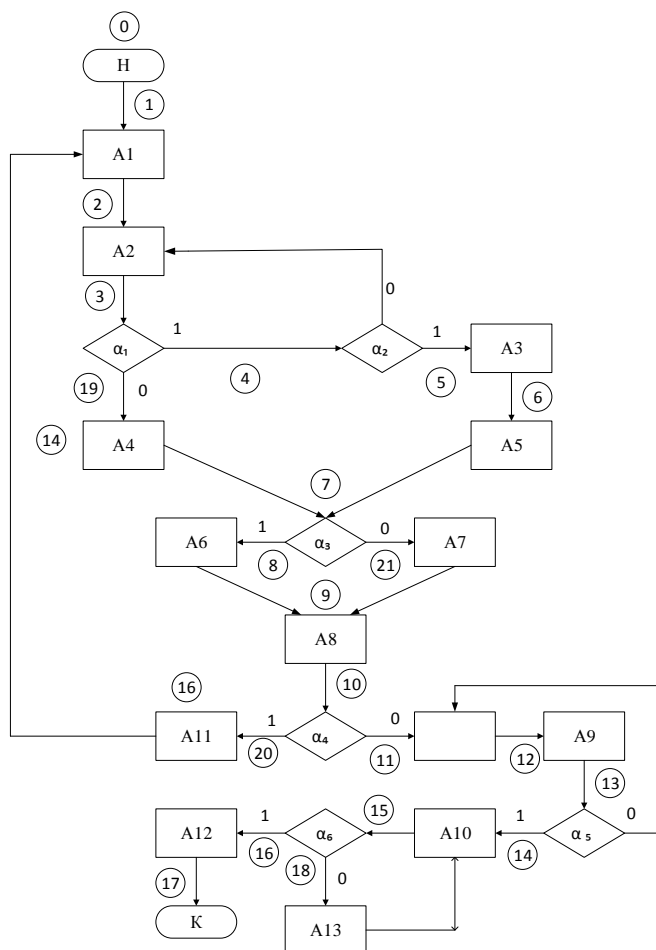


Рис.9. Граф-схема алгоритма управления автомата нового типа (НУАМх)

Таблица 5

Выбор логических условий НУАМх

α	1	2	3	4	5	6
a	3	4	7	1	1	1
(t)				0	3	5

Таблица 6

Выбор операторов действия

										0	1	2	3	k
(t)					9			1	2	4	0	6	8	7

В основном режиме НУАМх работает как УАМ_L, но при включении в блок синхронизации таймера для задержки сигнала синхронизации τ на время T может работать как УАМ_г без изменения структурной организации, т.е. НУАМх это универсальный автомат, т.к. реализует режим УАМ_г и режим УАМ_L только с одной комбинационной схемой переходов. На сегодня НУАМх это самый простой и мало затратный вариант реализации УА. Введение шифратора (кодера) CD(10) и организация самоконтроля НУАМх с кодами ДНК не представляет каких либо затруднений по новой ГСА.

Заключение

Синтез самоконтролируемых управляющих автоматов (СУА) предложено реализовать с использованием оригинального двоичного непозиционного кода (ДНК), не содержащего комбинации «11» в паре разрядов состояний. Эффективность обнаружения ошибки с новым кодом такая же, как и с кодами при фиксированном числе единиц (kCn). Схема контроля

представляет собой элементы «И» для каждой пары состояний, выходы которых объединяются схемой «ИЛИ». Показано, что такой способ контроля с кодами ДНК применим для простых автоматов Мура, а также для автоматов с оригинальной структурой организации, использующих мультиплексоры и также с оригинальной структурной организацией в автоматах нового типа, использующих логический блок из q элементов и адресуемых независимым подмножеством дешифратора состояний.

Применение непоозиционных двоичных кодов особого типа с исключением комбинаций «11» в каждой паре разрядов состояний обеспечило построение СУА с минимальными затратами оборудования для реализации встроенных средств контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бадмаева Т. С. Синтез самоконтролируемой системы управления электроавтоматикой / Т. С. Бадмаева, Н. П. Деканова, Ю. Ф. Мухопад // Информационные технологии в энергетике, экономике, экологии. – Иркутск: СЭИ СО РАН, 2003. – С. 57–64.
2. Баранов С. И. Синтез автоматов на элементах с матричной структурой / С. И. Баранов, В. Н. Синев, Н. Я. Янцен // Проектирование функционально-ориентированных вычислительных систем. – Л.: ЛГУ, 1990. – С. 90–108.
3. Баркалов А. А. Прикладная теория цифровых автоматов / А. А. Баркалов, Л. А. Титаренко. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – 320 с.
4. Гаврилов М. А. Логическое проектирование дискретных автоматов / М. А. Гаврилов, В. В. Девятков, Е. И. Пупырев. – М.: Наука, 1977. – 368 с.
5. Горбатов В. А. Теория автоматов / В. А. Горбатов, А. В. Горбатов, М. В. Горбатова. – М.: Астрель, 2008. – 699 с.
6. Закревский А. Д. Логические основы проектирования дискретных устройств / А. Д. Закревский, Ю. В. Поттосин, Л. Д. Черемисинова. – М.: Физматлит, 2007. – 592 с.
7. Кудрявцев В. Б. Теория автоматов / В. Б. Кудрявцев, Ф. Б. Алешин, А. С. Подколзин // МГУ им. М. Ломоносова. – М.: Юрайт, 2018. – 320 с.
8. Мухопад Ю. Ф. Микроэлектронные информационно-управляющие системы / Ю. Ф. Мухопад. – Иркутск: ИрГУПС, 2004. – 407 с.
9. Труды по теории синтеза и диагноза конечных автоматов и релейных устройств / под ред. В. В. Сапожникова и Вл. В. Сапожникова. – СПб. Эл-мор, 2009. – 894 с.
10. Yu. F. Mukhopad, V. N. Sizykh, S. K. Kargapol'cev, O. N. Skrypnik and A. Yu. Mukhopad Majority redundancy of control automata // FJMS Тома 103 № 2, 2018 Far East Journal of Mathematical Sciences (FJMS)© 2018 Pushpa Publishing House, Allahabad, India, Volume 103, Number 2, 2018, Pages 311-320.
11. Смолов В.Б., Чекмарев Ю.Д., Мухопад Ю.Ф. Использование системы геометрических кодов в ПЗУ// Изв. вызов СССР: Приборостроение, 1971. Т. 14, № 6.
12. Cook, G. Anderson D, Metze G. Design of totally self checking Circuits for m-out-of-n Codes / G. Cook, D. Anderson, G. Metze.- IEEE Transactivus.-1973.-Vc.22,№3.p. 255 - 263.
13. Патенты РФ № 64792, № 62717. Программная матрица для пневматических систем управления дискретного действия / Мухопад Ю.Ф., Бовкун А.Ф., Комков А.З. БИ. № 19, 2007.
14. Микропрограммный автомат пат. № 82888 РФ / А. Ю. Мухопад, Ю. Ф. Мухопад. БИ № 13.– 2009. –
15. Мухопад Ю. Ф Теория дискретных устройств / Ю. Ф. Мухопад. – Иркутск: ИрГУПС, 2010. – 172 с.
16. Мухопад А. Ю. Теория управляющих автоматов технических систем реального времени / А. Ю. Мухопад. – Новосибирск: Наука, 2015. 176 с.
17. Управляющий автомат Патент на полезную модель №183109/ Мухопад А.Ю., Мухопад Ю.Ф., Пунсык-Намжилов Д.Ц., Бюл. № 26.- 2018.
18. Мухопад Ю.Ф., Мухопад А.Ю. Алгоритмические системы управления / уч. пособие.- Иркутск: ИрГУПС, 2018.- 94 с.

19. Мухопад Ю. Ф. Управляющие автоматы мехатроники с новым определением состояний / Ю. Ф. Мухопад, А. Ю. Мухопад, Д. Ц. Пунсык-Намжилов // Мехатроника, автоматика и робототехника : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2018. – Т.2. – С. 184–190.

REFERENCES

1. Badmayeva T. S. Synthesis of self-controlled control system of electroautomatics / T. S. badmayeva, N. P. Dekanova, Yu. F. Mukhopad // Information technologies in energy, economy, ecology. Irkutsk: SEI SB RAS, 2003. Pp. 57-64.
2. Baranov S. I. Synthesis of automata on elements with matrix structure / S. I. Baranov, V. N. Sinev, N. Ya. Janzen // Design of functionally oriented computing systems. – L.: Leningrad state University, 1990. Pp. 90-108.
3. Barkalov A. A. Applied theory of digital automata / A. A. Barkalov, L. A. Titarenko. - Donetsk: DonNTU, 2013. - 320 PP.
4. Gavrilo M. A. Logical design of discrete automata / M. A. Gavrilo, V. V. Devyatkov, E. I. Pupyrev. - Moscow: Nauka, 1977. - 368 p.
5. Gorbatov V. A. Theory of automata / V. A. Gorbatov, A.V. Gorbatov, M. V. Gorbatov. - Moscow: Astrel, 2008. – 699 PP.
6. Zakrevsky A.D. Logical bases of designing discrete devices / A.D. Zakrevsky, Yu. V. Pottosin, L. D. Cheremisinova. - M.: Fizmatlit, 2007. - 592 p.
7. Kudryavtsev V. B. Theory of automata / V. B. Kudryavtsev, F. B. Aleshin, A. S. Podkolzin // Moscow state University. M. Lomonosov. - Moscow: Yurayt, 2018. - 320 PP.
8. Mukhopad Yu. F. microelectronic information and control systems / Yu.F. Mukhopad. – Irkutsk : The Irkutsk State University Of Communications, 2004. - 407 PP.
9. Proceedings on the theory of synthesis and diagnosis of finite automata and relay devices / ed. V. Sapozhnikova. – SPb. Elmore, 2009. – 894 p.
10. Yu. F. Mukhopad, N. V. Sizykh, S. K. Kargapol'cev, O. N. A. Skrypnik and A.Yu. Mukhopad Majority redundancy of control automata // FJMS Volumes 103 No. 2, 2018 Far East Journal of Mathematical Sciences (FJMS)© 2018 Pushpa Publishing House, Allahabad, India, Volume 103, Number 2, 2018, Pages 311-320.
11. Smolov V. B., Chekmarev Yu. D., Mukhopad Yu. F. Using the system of geometric codes in ROM// Izv. challenge of the USSR: instrument-Making, 1971. Vol. 14, No. 6.
12. Cook, G. Anderson D, Metze G. Design of totally self check Circuits for m-out-of-n Codes / G. Cook, D. Anderson, G. Metze.- IEEE Transactivus.-1973.- Vc.22, No. 3.p. 255 - 263.
13. Patents of the Russian Federation No. 64792, No. 62717. Program matrix for pneumatic control systems of discrete action / Mukhopad Yu. F., Bovkun A. f, Komkov A. Z. BI. No. 19, 2007.
14. Firmware automatic Pat. No. 82888 of the Russian Federation / A. Yu. Mukhopad, Yu. F. Mukhopad. BI No. 13.- 2009.
15. Mukhopad Yu. F. Theory of discrete devices / Yu. F. Mukhopad. – Irkutsk: The Irkutsk State University Of Communications, 2010. - 172 pp.
16. Mukhopad A. Yu. Theory of control automata of technical systems of real time / A. Yu. Mukhopad. - Novosibirsk: Nauka, 2015. 176 p.
17. Manager machine the Patent for useful model No. 183109/ Mukhopad A. Yu., Mukhopad Yu. F., Puncik Nemilov D. C., bull. No. 26.- 2018.
18. Mukhopad Yu. F., Mukhopad A. Yu. Algorithmic control systems.- Irkutsk: The Irkutsk State University Of Communications, 2018.- 94 p.
19. Mukhopad Yu. F Control machines mechatronics with a new definition of the States / Yu. F. Mukhopad, A. Yu. Mukhopad, D. C. Punsik- Namzhilov // mechatronics, automation and robotics : proceedings of the II Intern. science.- prakt. Conf. - Novokuznetsk: SIC MS, 2018. - T. 2. Pp. 184-190.

Информация об авторах

Мухопад Юрий Федорович – д. т. н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: bts48@mail.ru

Мухопад Александр Юрьевич – д.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: jcmg@mail.ru

Мудрая Наталья Георгиевна. аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mudrayanatali@mail.ru.

Authors

Mukhopad Yuri Fedorovich – Doctor of Technical Science, Professor of the Department «Automation of production processes», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: bts48@mail.r

Mukhopad Aleksandr Yuryevich – Doctor of Technical Science, docent of the Department «Automation of production processes», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: jcmg@mail.ru

Mudraya Natalia Georgievna, post-graduate student of the Department "automation of production processes", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mudrayanatali@mail.ru.

Для цитирования

Ю.Ф. Мухопад, А.Ю. Мухопад, Н.Г. Мудрая. Двоичное непозиционное кодирование состояний управляющих автоматов // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2019. – №3. – С. 23-34 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/34-2019>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 20.11.2019)

For citation

Yu.F. Mukhopad, A. Yu. Mukhopad, N.G. Mudraya Dvoichnoe nepozicionnoe kodirovanie sostoyanij upravlyayushchih avtomatov [A binary non-positional encoding of states control automaton] // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2019. No. 3. P. 23-34. [Accessed 20/11/19]