

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТОВ ДЛЯ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА БЛОКА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

А. С. Белима

К и е в

В дискретной системе сбора и обработки информации циклически-спорадического действия [1] введены некоторые элементарные функции приспособления к изменению внешних условий (повышению уровня помех, отклонению температуры окружающей среды и напряжения питания) и к вызванным этими изменениями нарушениям нормального функционирования отдельных узлов системы.

Приспособление состоит в том, что при искажении передаваемой информации или при сбоях и отказах основных блоков пункта группового контроля (ПГК) происходит автоматическое изменение программы работы системы. При однократном искажении передаваемой информации или нарушении правильного функционирования контролируемых блоков приостанавливается нормальная программа, и происходит повторное воспроизведение нарушенной функции.

Двухкратный сбой воспринимается как отказ, отказавшие узлы исключаются в данном цикле из работы, и осуществляется сигнализация этих узлов.

При нормальной работе системы обслуживание каждого датчика ПГК производится при помощи двух серий по 10 импульсов в каждой, что соответствует двум родам работы: выбору датчика и считыванию информации.

Постановка задачи. Необходимо построить структурную схему блока приспособления для обслуживания датчиков ПГК с минимальным расходом запоминающих и логических элементов. Узел приспособления, воспринимая входные сигналы, появляющиеся при нарушениях нормальной работы системы, должен вырабатывать выходные сигналы для соответствующего изменения программы работы системы. Входные и выходные сигналы узла приспособления приведены в табл. 1.

Узел приспособления устанавливается в нуль при восстановлении нормальной работы системы после однократного нарушения, а также — после двухкратного.

Будем считать, что при поступлении данного входного сигнала приняты специальные меры, исключающие появление других входных сигналов в течение данной серии и при повторном выполнении нарушенной функции. Выходные сигналы могут появляться только после при-

рода входных сигналов и установления нового состояния в блоке приспособления.

Таблица 1

№ з/п	Входные сигналы	Входной алфавит	Выходные сигналы	Выходной сигнал
1	Датчик не переключится один раз	x	Переключить датчик, запрет изменения рода работы	(1)
2	Электромагнит не сработал один раз	y	Запрет изменения рода работы	(2)
3	Искажение информации		Запрет регистрации, запрет изменения рода работы	(6)
4	Датчик не переключился два раза	xx	Сигнализация «отказ распределителя датчиков», переключить ПГК	(3)
5	Электромагнит не сработал два раза	y	Сигнализация «отказ электромагнита», переключить датчик	(4)
6	Искажение информации два раза	zz	Сигнализация «интенсивные помехи», переключить датчик, запрет регистрации информации	(5)

Решение задачи. Из постановки задачи видно, что блок-приспособление представляет собой, по терминологии В. М. Глушкова [2], автомат второго рода или автомат Мура. Методика синтеза таких автоматов разработана В. М. Глушковым в вышеуказанной работе. Применим эту методику для решения нашей задачи. Синтез автомата Мура состоит из двух частей абстрактного синтеза и структурного синтеза.

В результате абстрактного синтеза определяется минимальное количество внутренних состояний автомата, и таким образом, количество элементов памяти. В результате структурного синтеза из имеющегося набора запоминающих и логических элементов строится структурная схема автомата с минимальным расходом этих элементов.

Абстрактный синтез блока приспособления. Абстрактный синтез автомата Мура считается законченным, если построена таблица переходов автомата и произведена ее минимизация.

Абстрактный синтез производится в следующем порядке.

1. Выбираем входной и выходной алфавит (табл. 1.).

2. Записываем отображения, индуцированные автоматом. $x - (1)$; $y - (2)$; $z - (6)$; $xx - (1), (3)$, $yy - (2), (4)$; $zz - (6), (5)$. Легко заметить, что выражения, индуцированные блоком приспособления, отвечают условиям автоматности [2].

Примечание. Сигнал «установить узел приспособления в «0» мы не включили во входные сигналы, чтобы упростить синтез узла, а также потому, что схемы установки в «0» обладают определенной спецификой.

Запишем регулярные выражения событий. Они довольно просты для нашей задачи

$$S_1 = x; S_2 = y; S_3 = xx; S_4 = yy;$$

$$S_5 = zz; S_6 = z.$$

Произведем абстрактный синтез, пользуясь основным алгоритмом синтеза конечных автоматов [2], состоящего из шести основных правил и нескольких дополнительных (дополнительные обозначены индексом «а»)

Правило 1 определяет разметку мест в регулярных выражениях. Выполним ее

$$S_1 = |x|; S_2 = |y|; S_3 = |x|x|; S_4 = |y|y|; S_5 = |z|z|; S_6 = |z|.$$

Правило 2 определяет присвоение индексов местам, что мы и выполняем

$$S_1 = |x|; S_2 = |y|; S_6 = |z|; S_3 = |x|x|;$$

$$S_4 = |y|y|; S_5 = |z|z|.$$

Правило 2а определяет операцию отождествления соответственных мест. Выполним эту операцию для нашего случая

$$S_1 = |x|; S_2 = |y|; S_6 = |z|;$$

$$S_3 = |x|x|; S_4 = |y|y|; S_5 = |z|z|.$$

Правило 3 определяет обозначение основных и неосновных мест, а также выписывание множества неосновных индексов, согласно правилам подчиненности мест. Для нашего случая это выглядит так:

$$S_1 = |x|; S_2 = |y|; S_3 = |x|x|;$$

$$S_6 = |z|; S_4 = |y|y|; S_5 = |z|z|.$$

Правило 4 определяет построение таблицы переходов автомата Мура. Наш блок является автоматом Мура, так как выходные сигналы в синтезируемом блоке зависят от входного сигнала и от состояния, в которое перейдет блок под действием данного сигнала. Ниже приводится таблица переходов синтезируемого автомата.

Правило 5 определяет построение отмеченной таблицы переходов автомата.

Таблица 2

Входной алфавит	0	1	2	3	5	7	9
x	1	5	*	*	*	*	*
y	2	*	7	*	*	*	*
z	3	*	*	9	6	*	*

Таблица 3

		S ₁	S ₂	S ₆	S ₃	S ₄	S ₅
Входной алфавит	0	1	2	3	5	7	9
x	1	5	*	*	*	*	*
y	2	*	7	*	*	*	*
z	3	*	*	9	*	*	*

Результат построения такой таблицы приведем в табл. 3. Пронумеруем состояния и выходы синтезируемого автомата

$$a_0 = 0; a_1 = 1; a_2 = 2; a_3 = 3; a_4 = 5; a_5 = 7; a_6 = 9.$$

Перепишем отмеченную таблицу переходов с учетом новых обозначений.

Минимизировать дальше полученный абстрактный автомат бесполезно, так как для получения семи различных выходов (включая исходный 0) необходимо не менее семи внутренних состояний.

Структурный синтез. Задачей структурного синтеза, как было указано выше, является построение из заданного набора элементов памяти и логических элементов структурной схемы автомата, который бы нес возложенные на него логические функции и имел минимальное количество элементов. Структурная схема строится на основе канонических уравнений [2].

Таблица 4

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
Входной алфавит	0	1	2	3	4	5	6
x	1		*	*	*	*	*
y	2	4		*	*	*	*
z	3	*	*	6	*	*	*

Таблица 5

Входной алфавит	000	001	010	011	100	101	110
x	001	100	*	*	*	*	*
y	010	*	101	*	*	*	*
z	011	*	*	110	*	*	*

Структурный синтез производим в следующем порядке:

1. Записываем структурную таблицу состояний, для чего кодируем значение состояний и переходов в отмеченной таблице переходов двоичным кодом.

2. Составляем таблицу возбуждений синтезируемого автомата. В зависимости от выбранного типа запоминающего устройства таблица возбуждений строится на основе структурной таблицы переходов по различным правилам. Выберем в качестве запоминающего устройства триггер со счетным входом. Тогда, пользуясь правилом [2], получим таблицу возбуждений (табл. 6).

Таблица 6

Входной алфавит	000	001	010	011	100	101	110
x	001	101	*	*	*	*	*
y	010	*	111	*	*	*	*
z	011	*	*	101	*	*	*

Таблица 7

0	0	(0, 1) (1) (0, 2*) (2) (0, 4*) (4)	(0, 1, 2, 3) (1) (2) (0, 1, 4, 5) (4) (0, 2, 4, 6) (4)
1	1 2* 4*	(1, 3*) (2) (1, 5*) (4)	
2	5* 6*	(2*, 3*) (1) (2*, 6*) (4)	

3. Запишем функции возбуждения автомата u_i , которые задают зависимость входных сигналов памяти от входных сигналов x , y , z и структурного состояния автомата, определяемого переменными a_3 , a_2 , a_1 ,

$$u_i = f(x, y, z, a_3, a_2, a_1).$$

Для явного выражения правых частей уравнения (1) представляем их в совершенной дизъюнктивной нормальной форме, фиксируя наборы, на которых конstituенты равны единице.

Чтобы облегчить минимизацию совершенных дизъюнктивных форм, конstituенты единиц обозначают номерами в десятичном счислении. Конstituенты, на которых данная функция не определена, обозначаются звездочкой и называются безразмерными.

Пользуясь таблицей возбуждений, напомним функции возбуждения автомата

$$u_1 = x(0, 1, 2^*, 3^*, 4^*, 5^*, 6^*) \vee y(1^*, 2, 3^*, 4^*, 5^*, 6^*) \vee z(0, 1^*, 2^*, 3^*, 4^*, 5^*, 6);$$

$$u_2 = y(0, 1^*, 2^*, 3^*, 4^*, 5^*, 6^*) \vee z(0, 1^*, 2^*, 4^*, 5^*, 6^*);$$

$$u_3 = x(1, 2^*, 3^*, 4^*, 5^*, 6^*) \vee y(1^*, 2^*, 3^*, 4^*, 5^*, 6^*) \vee z(1^*, 2^*, (1, 3, 4^*, 5^*, 6^*).$$

Для минимизации совершенных дизъюнктивных форм функции применим усовершенствованный метод Квайна — Мак — Класки. Этот метод использует операции неполного склеивания и поглощения по определенным правилам. Процесс минимизации оформляется в виде таблицы. По результатам минимизации строится таблица простых импликант [3], из которой выбирается ядро функции f_k , т. е. производится дальнейшая минимизация.

Таблица 8

0	1	2	3	4	5	6	
*	*	*	*				A
*	*			*	*		B
*		*		*		*	C

Результаты минимизации и записи функций f_1 в явном виде приводятся ниже.

Из импликантной таблицы видно, что ядро функции f_1 составляет импликанта A и B. Тогда, учитывая, что переменные функции f_1 , обозначающие структурное состояние автомата, выражены через $\alpha_3, \alpha_2, \alpha_1$, получим

$$\begin{array}{r} \alpha_3 \alpha_2 \alpha_1 \\ 000 \\ 001 \\ 010 \\ 011 \\ \hline \alpha_3 \end{array}$$

Следовательно, $f_1 = \bar{\alpha}_3$.

Аналогично производится минимизация для функций

$$f_2 = (1^*, 2, 3^*, 4^*, 5^*, 6^*); \quad f_3 = (0, 1^*, 2^*, 3, 4^*, 5^*, 6^*);$$

$$f_4 = (0, 1^*, 2, 3^*, 4^*, 5^*, 6^*); \quad f_5 = (0, 1^*, 2^*, 4^*, 5^*, 6^*);$$

$$f_6 = (1, 2^*, 3^*, 4^*, 5^*, 6^*); \quad f_7 = (1^*, 2, 3^*, 4^*, 5^*, 6^*);$$

$$f_8 = (1^*, 2^*, 3, 4^*, 5^*, 6^*).$$

В результате минимизации получаем следующие значения функции:

$$f_2 = \alpha_2 \bar{\alpha}_1; \quad f_3 = \bar{\alpha}_3; \quad f_4 = \bar{\alpha}_3; \quad f_5 = \bar{\alpha}_2; \quad f_6 = \bar{\alpha}_3 \alpha_1; \quad f_7 = \bar{\alpha}_3 \alpha_2; \quad f_8 = \bar{\alpha}_3 \alpha_1.$$

Запишем канонические уравнения автомата в явном виде

$$u_1 = x \bar{\alpha}_3 \vee y \alpha_2 \bar{\alpha}_1 \vee z \bar{\alpha}_3;$$

$$u_2 = y \bar{\alpha}_3 \vee z \alpha_2;$$

$$u_3 = x \bar{\alpha}_3 \alpha_1 \vee y \bar{\alpha}_3 \alpha_2 \vee z \bar{\alpha}_3 \alpha_1. \quad (2)$$

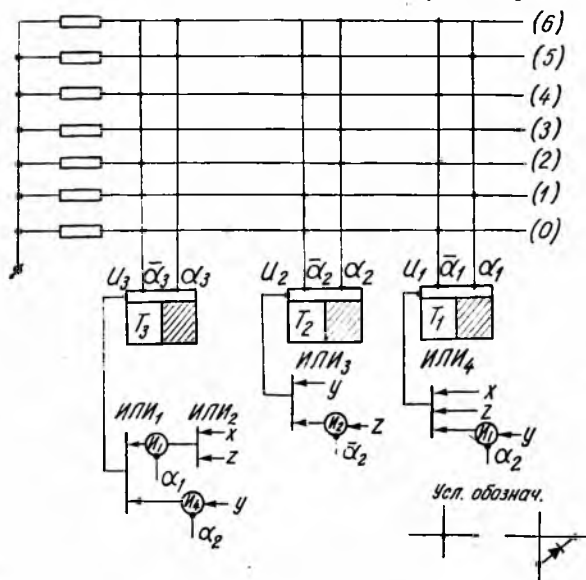
Эти уравнения, исходя из специфики нашего автомата, можно еще упростить, если учесть, что переменные $\bar{\alpha}_3$ и $\bar{\alpha}_1$ для входа u_1 не изменяются при поступлении входных сигналов (см. структурную таблицу

переходов) и их можно принять равными 1, переменная $\alpha_3 = 1$ для входа u_2 , переменная $\alpha_3 = 1$ для входа u_3 .

В результате каноническое уравнение (2) в явном виде будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} u_1 &= x \vee y \vee z; \\ u_2 &= y \vee z\bar{\alpha}_2; \\ u_3 &= x\alpha_1 \vee y\alpha_3 \vee z\alpha_1 = (x \vee z)\alpha_1 \vee y\alpha_3. \end{aligned} \quad (3)$$

Аналогичные уравнения для нашей задачи более просто можно получить, применив для минимизации функций f_k диаграммы Вейча [2, 4].



Структурная схема автомата.

По уравнению (3) можно построить структурную схему автомата. Для этого кроме триггеров со счетным входом применим импульсно-потенциальную схему совпадений (схему И) и импульсную схему ИЛИ.

В качестве разрешающего потенциала для прохождения импульсов через схему совпадения выбираем отрицательный. Правые коллекторы триггеров обозначим соответственно $\alpha_3, \alpha_2, \alpha_1$; левые — $\bar{\alpha}_3, \bar{\alpha}_2, \bar{\alpha}_1$. В исходном состоянии автомата на левых коллекторах будет высокий потенциал отрицательный, а на правых — нулевой потенциал.

Построенная структурная схема представлена на рисунке. Проверим, выполняет ли автомат требуемые функции. При приходе сигнала x на вход u_1 на коллекторе устанавливается высокий минусовый потенциал, который соответствует «1». Таким образом, входной сигнал x создает на выходе автомата сигнал 001. Отрицательный потенциал открывает клапан B , который был закрыт в исходном состоянии, и при приходе входного слова xx на выходе блока устанавливается сигнал 100, так как триггер T_1 устанавливается повторным сигналом x в исходное состояние.

То же самое мы видим, когда приходят остальные слова, составленные из букв входного алфавита — автомат переходит в соответствующее состояние. Для получения выходных сигналов в десятичном коде (0, 1,

2, 3, 4, 5, 6) достаточно построить диодную матрицу, управляемую потенциалами триггеров T_3 , T_2 , T_1 (рис.). На этом структурный синтез блока приспособления заканчивается.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Белима, Л. О. Малец, В. А. Сидорко, А. Р. Коломиец, Ю. А. Масюренко. Дискретная система сбора и обработки информации циклическо-спорадического действия для диспетчеризации доменного цеха. Тр. I Всесоюз. конф. по системам оперативного управления (в печати).
 2. В. М. Глушков. Синтез цифровых автоматов. Физматгиз, М., 1962.
 3. С. Колдуэл. Логический синтез релейных схем. Изд-во иностр. лит-ры, М., 1962.
 4. Е. И. Вавилов, Г. П. Портной. Синтез схем электронных цифровых машин. Изд-во «Советское радио», М., 1964.
-