УДК 681.142.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНТЕЗА ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ СТРУКТУР

С.В. Шидловский

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: stas@iit.tusur.ru

Рассматривается логическая система имитационного моделирования для синтеза и исследования вычислительных сред с перестраиваемой структурой. Показаны аналитическая и структурная формы построения многофункциональных логических модулей.

Работа конечного автомата без памяти может быть полностью описана с помощью системы функций алгебры логики [1]:

$$\begin{cases} y_1 = f_1(x_1, x_2, ..., x_n), \\ y_2 = f_2(x_1, x_2, ..., x_n), \\ \text{..............................} \\ y_m = f_m(x_1, x_2, ..., x_n). \end{cases} \quad (1)$$

Функция алгебры логики $f(x_1,x_2,...,x_n)$ полностью определяется заданием ее значений на всех наборах аргументов. Поскольку число аргументов и число значений каждого аргумента конечны, то конечна и область определения любой функции алгебры логики.

Существует ряд способов задания функций алгебры логики: табличный, графический, координатный, числовой, аналитический.

В рамках обсуждений данного материала будем использовать аналитический способ – когда функция задается в виде алгебраического выражения, полученного путем применения логических операций к переменным алгебры логики. Например, применяя операции конъюнкции, дизъюнкции и инверсии, можно задать функцию

$$f = x_1 x_2 \vee \bar{x}_3 x_4.$$

При синтезе конечного автомата все функции f_i системы (1) будут заменяться аналитическими выражениями через базисные функции. Если за базис выбрана функция дизъюнкции, конъюнкции и отрицания (И, ИЛИ, НЕ), что соответствует выбору стандартного набора логических элементов, то все функции f_i из (1) могут быть представлены в дизъюнктивной совершенной нормальной форме (ДСНФ) или конъюнктивно совершенной нормальной форме. После этого автомат может быть реализован на стандартных элементах.

В процессе реализации автомата важно не только количество типовых стандартных элементов, но и их общее число, затраченное на построение автомата. Сложность автомата с точки зрения количества использованных элементов существенно зависит от вида функции (1) и функций, выбранных в качестве базиса.

При синтезе автомат представляется в виде системы булевых функций, каждая из которых записывается в ДСНФ:

$$F_k = \bigvee_{i \in C_k} \left(\bigwedge_{j=1}^{n} Y_j^{a_{ij}} \right)_i \quad (k = \overline{1, p}), \quad (2)$$

где p – число выходов схемы; C_k – множество наборов переменных, на которых k-я функция определена и принимает истинное значение; $C_k \subseteq G$ (G – множество наборов переменных, на которых хотя бы одна из функций определена и принимает истинное значение); n – число переменных функции F_k; a_{ij} – показатель инверсирования; $Y_j^{a_{ij}}$ – j-я переменная функции F_k, определяемая по выражению

$$Y_j^{a_{ij}} = \begin{cases} Y_j \text{ при } a_{ij} = 1, \\ \bar{Y}_j \text{ при } a_{ij} = 0, \end{cases}$$

$$a_{ij}, Y_j^{a_{ij}}, F_k \in E, \quad E = \{0,1\}.$$

В процессе минимизации осуществляется переход от ДСНФ к сокращенной дизъюнктивной нормальной форме функций, а затем к их минимальной дизъюнктивно нормальной форме.

Поскольку существует некоторое множество L, образуемое набором переменных, на которых функция F_k не определена, причем эти наборы переменных не могут появиться на входах синтезируемой схемы, то они могут использоваться для образования элементарных конъюнкций минимального ранга, поглощающих максимальное количество исходных наборов переменных из множества G. Таким образом, в общем случае в выражении (2) $i \in H_k = C_k \cup L$ [2].

На основе полученной минимизированной булевой функции синтезируется комбинационная схема автомата. Данная концепция заложена в основу созданной нами логической системы имитационного моделирования Cell System, представляющей собой расширение динамической библиотеки Simulink интегрированной системы автоматизации математических и научно-технических расчетов Matlab (рис. 1).

Cell System включает в себя многофункциональные логические модули (МЛМ) – (S-, T-, H-, L-, V-ячеек).

Примером синтезированного автомата служит МЛМ, ориентированный на вычисление как упорядоченных, так и неупорядоченных булевых формул, представленных классами 1–6 [3] и подклассом J, определяемым следующим образом. Пусть дана формула, явно или неявно зависящая от аргументов $x_1, x_2, \ldots, x_n$. Запишем эти аргументы в порядке возрастания их индексов слева направо. Аргумент, имеющий наименьший индекс, будем называть минимальным, а наибольший – максимальным. Диапазоном формулы назовем замкнутый интервал, границы которого образуют индексы минимального и максимального аргументов. Условимся, что интервалы двух различных формул пересекаются, если минимальный аргумент одной из функций входит в интервал другой.

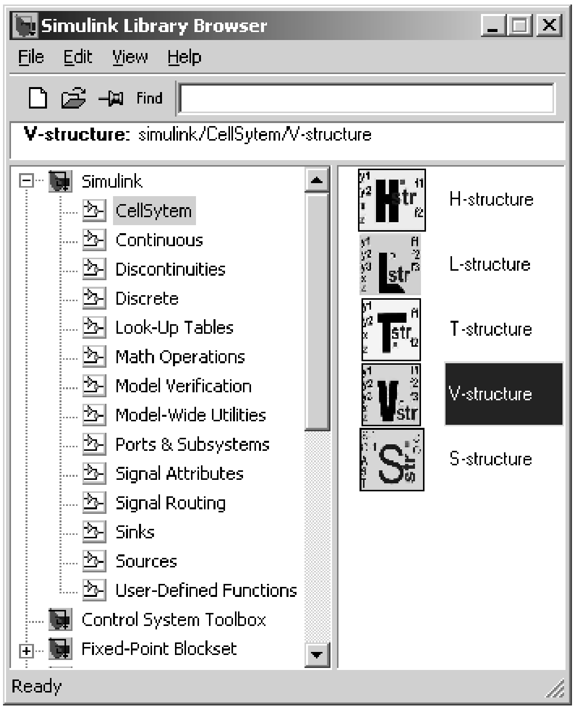

Рис. 1. *Диалоговое окно динамической библиотеки Simulink*

Если формула f представлена в виде

$$f = l * \omega * q,$$

то она входит в подкласс J, где l и ω – упорядоченные формулы с пересекающимися диапазонами; q – упорядоченная формула, минимальный аргумент которой не входит в диапазон формул l и ω.

В общем случае формула q может быть тождественно равна нулю; * – знак конъюнкции или дизъюнкции. Формулы l и ω могут быть любого порядка.

Логическая схема МЛМ описывается следующей системой булевых формул:

$$\begin{cases} f_1 = y_1(\bar{z}_1 z_2 \vee \bar{z}_1 z_3 \bar{z}_4 \vee x\bar{z}_3) \vee (z_1 \vee z_2) x\bar{z}_3, \\ f_2 = (\bar{z}_1 x \vee z_3 x \vee z_2 \vee \bar{z}_2 y_1 \vee \bar{z}_1 \bar{z}_3 \vee \bar{z}_1 z_4) y_2 \vee \\ \qquad \vee x z_4 \vee y_1 z_1 z_2, \end{cases}$$

где x, y_1, y_2 – информационные входы; z_1, z_2, z_3, z_4 – настроечные входы; f_1, f_2 – выходы МЛМ.

Многофункциональный логический модуль, который в дальнейшем будем называть H-ячейкой, реализует следующие системы булевых формул:

1) при $z_4=0$, $z_3=0$, $z_2=0$, $z_1=0$;
2) при $z_4=0$, $z_3=0$, $z_2=0$, $z_1=1$;

1) $\begin{cases} f_1 = y_1 x, \\ f_2 = y_2; \end{cases}$ 2) $\begin{cases} f_1 = x, \\ f_2 = y_1 y_2; \end{cases}$

3) при $z_4=0$, $z_3=0$, $z_2=1$, $z_1=0$;
4) при $z_4=0$, $z_3=0$, $z_2=1$, $z_1=1$;

3) $\begin{cases} f_1 = y_1 \vee x, \\ f_2 = y_2; \end{cases}$ 4) $\begin{cases} f_1 = x, \\ f_2 = y_1 \vee y_2; \end{cases}$

5) при $z_4=0$, $z_3=1$, $z_2=0$, $z_1=0$;
6) при $z_4=0$, $z_3=1$, $z_2=0$, $z_1=1$;

5) $\begin{cases} f_1 = y_1, \\ f_2 = y_2 x; \end{cases}$ 6) $\begin{cases} f_1 = 0, \\ f_2 = x y_2; \end{cases}$

7) при $z_4=0$, $z_3=1$, $z_2=1$, $z_1=0$;
8) при $z_4=0$, $z_3=1$, $z_2=1$, $z_1=1$;

7) $\begin{cases} f_1 = y_1, \\ f_2 = y_2; \end{cases}$ 8) $\begin{cases} f_1 = 0, \\ f_2 = y_1 \vee y_2; \end{cases}$

9) при $z_4=1$, $z_3=0$, $z_2=0$, $z_1=0$;
10) при $z_4=1$, $z_3=0$, $z_2=0$, $z_1=1$;

9) $\begin{cases} f_1 = y_1 x, \\ f_2 = y_2 \vee x; \end{cases}$ 10) $\begin{cases} f_1 = x, \\ f_2 = y_1 y_2 \vee x; \end{cases}$

11) при $z_4=1$, $z_3=0$, $z_2=1$, $z_1=0$;
12) при $z_4=1$, $z_3=0$, $z_2=1$, $z_1=1$;

11) $\begin{cases} f_1 = y_1 \vee x, \\ f_2 = y_2 \vee x; \end{cases}$ 12) $\begin{cases} f_1 = x, \\ f_2 = y_1 \vee y_2 \vee x; \end{cases}$

13) при $z_4=1$, $z_3=1$, $z_2=0$, $z_1=0$;
14) при $z_4=1$, $z_3=1$, $z_2=0$, $z_1=1$;

13) $\begin{cases} f_1 = 0, \\ f_2 = y_2 \vee x; \end{cases}$ 14) $\begin{cases} f_1 = 0, \\ f_2 = x; \end{cases}$

15) при $z_4=1$, $z_3=1$, $z_2=1$, $z_1=0$;
16) при $z_4=1$, $z_3=1$, $z_2=1$, $z_1=1$;

15) $\begin{cases} f_1 = y_1, \\ f_2 = y_2 \vee x; \end{cases}$ 16) $\begin{cases} f_1 = 0, \\ f_2 = y_1 \vee y_2 \vee x. \end{cases}$

Проиллюстрируем работу изотропных сред (H-структур), построенных на H-ячейках, на следующих примерах:

Пример 1. Реализация бесповторной неупорядоченной формулы вида

$$f_1 = (x_1 x_3 \vee x_4)\, x_2$$

представлена на рис. 2, где для каждой ячейки указаны настроечные коды, формулы f_1 принадлежит подклассу J, поскольку $l = x_1 x_3 \vee x_4$, $\omega = x_2$, $q \equiv 0$, а минимальный аргумент ω-формулы входит в диапазон формулы l. Нетрудно убедиться в том, что формула f_1 является неупорядоченной, т.к. среди всех формул, получаемых путем тождественных преобразований, упорядоченные записи отсутствуют.

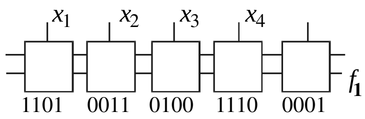

Рис. 2. *К примеру 1*

Пример 2. Аналогично для бесповторной неупорядоченной ни при каких тождественных преобразованиях формулы

$$f_2 = x_1x_3 \vee x_2x_4 \vee x_6x_8 \vee x_9,$$

содержащей пропуски аргументов x_5 и x_7, имеем

$$l = x_1x_4,\ \omega = x_2x_4,\ q = x_6x_8 \vee x_9.$$

Структура и настроечные коды ячеек приведены на рис. 3.

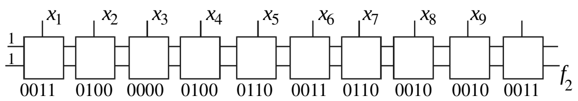

Рис. 3. *К примеру 2*

Пример 3. Рассмотрим случай реализации формулы

$$f_3 = x_1x_2 \vee x_1x_3 \vee x_2x_3 \vee x_4 \vee x_5.$$

Формула f_3 является повторной, так как не существует никаких тождественных преобразований, в результате которых получалась бы запись с однократным вхождением в нее каждого аргумента. Настроечные коды для каждой ячейки изотропной среды, реализующей формулу f_3, представлены на рис. 4.

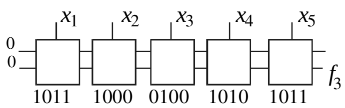

Рис. 4. *К примеру 3*

Пример 4. Реализация неупорядоченной формулы высокого порядка

$$f_4 = \{[(x_1x_6 \vee x_8)x_{10} \vee x_{11}]x_{12} \vee x_{13}\}\ \{[(x_2x_3x_4 \vee$$
$$\vee x_5)x_7x_9 \vee x_{14}]\} \vee [(x_{15}x_{16} \vee x_{17})x_{18} \vee x_{20}]\,x_{21}$$

с пропуском аргумента x_{19}, настроечными кодами для каждой ячейки представлена на рис. 5.

Изотропные среды, построенные на *H*-ячейках, обеспечивают реализацию как класса бесповторных упорядоченных произвольных нормальных формул из *h* букв (в том числе любых скобочных), так и формул из класса неупорядоченных и повторных, определяемых подклассом *J*.

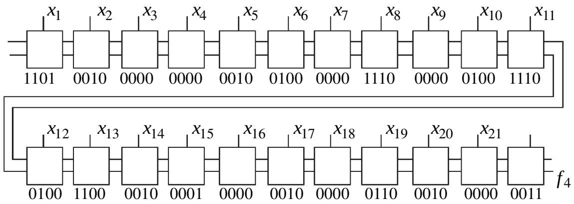

Рис. 5. *К примеру 4*

Полученная динамическая библиотека МЛМ позволяет существенно облегчить работу при исследовании и построении на их основе однородных сред и самих МЛМ в частности.

Представление моделей в такой форме хорошо согласуется с теоретическими выкладками и является основой для более детальной проработки экспериментального материала. Однако, когда возникает задача реализации того или иного устройства с использованием микропроцессорных средств, возникают трудности с реализацией модели, представленной в структурной форме. Для наиболее быстрого перевода модели в микропроцессорные средства желательно работать с некоей функцией, отражающей поведение устройства. Аргументы функции служат в качестве входа устройства, а принимаемые ею значения – выхода. Поэтому кроме структурной реализации все рассмотренные выше МЛМ реализованы в Cell System в качестве функций. Для этого использовались системы булевых формул, описывающие каждую из МЛМ. Данный метод также хорошо себя зарекомендовал при исследовании, требующем обрабатывать большое количество информации. Например, для *V*-ячеек необходимо было рассмотреть 256 комбинаций наборов переменных. В результате получается матрица данных размером 256×11, отражающая все возможные состояния МЛМ *V*-структуры. Кроме того, существует возможность анализировать полученную информацию с помощью специально разработанных блоков, например, для проверки синтезированных автоматов на функциональную полноту.

Таким образом, у разработчика появляется инструментарий, позволяющий разрабатывать и исследовать как МЛМ, так и построенные на их основе изотропные и квазиизотропные среды. Эксплуатация разработанной системы Cell System показала высокую эффективность и надежность ее работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поспелов Д.А. Логические методы анализа и синтеза схем. – М.: Энергия, 1964. – 320 с.
2. Баранов С.И., Скляров В.А. Цифровые устройства на программируемых БИС с матричной структурой. – М.: Радио и связь, 1986. – 272 с.
3. Шидловский С.В. Перестраиваемые структуры на многофункциональных логических модулях // Информационные системы: Труды постоянно действующей науч.-техн. школы-семинара студентов, аспирантов и молодых специалистов «Информационные системы мониторинга окружающей среды». – Вып. 2. – Томск: ТУСУР, 2003. – С. 105–117.