

КЛАССИФИКАЦИЯ СТРУКТУР КОМПОЗИЦИОННЫХ МИКРОПРОГРАММНЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ

Баркалов А.А.

Кафедра ЭВМ, ДНТУ

barcalov@cs.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Barkalov A.A. Classification of the structures of compositional microprogram control units. The classification of the structures of control units represented as composition of the automata with hardwired and programmable logic is given. It is shown that there are seven root structures. Application of the replacement of inputs and encoding of outputs produces different multilevel structures.

Введение

Одним из способов реализации алгоритма управления цифровой системы является ее интерпретация композиционным микропрограммным устройством управления (КМУУ) [1]. КМУУ представляет собой композицию автоматов с "жесткой" и "программируемой" логикой, для реализации логических схем которых используются программируемые логические интегральные схемы [2]. Центральной задачей при синтезе КМУУ является выбор структуры, позволяющей оптимизировать число БИС в схеме при заданном быстродействии. В настоящей работе дается классификация структур КМУУ.

1. Композиционное микропрограммное устройство управления с базовой структурой

Центральным понятием в теории КМУУ является операторная линейная цепь (ОЛЦ), представляющая собой следующую в естественном порядке последовательность операторных вершин исходной граф-схемы алгоритма (ГСА) [3]. Для синтеза КМУУ необходимо сформировать минимальное разбиение S множества операторных вершин D исходной ГСА Γ на ОЛЦ $C = \{d_1, \dots, d_G\}$. В пределах каждой ОЛЦ выполняется естественная адресация микрокоманд, закон функционирования автомата с "жесткой" логикой задается преобразованной ГСА Γ . КМУУ U_1 с базовой структурой (Табл.1) функционирует следующим образом. Автомат S_1 с "жесткой" логикой, построенный на схеме КС и регистрах РП, формирует в СЧАМК адрес входа ОЛЦ $d_g \in C$. Если в СЧАМК находится не адрес выхода ОЛЦ, то управляющая память (УП) вместе с микрооперациями $u_n \in Y$ формирует сигнал y_0 , по которому к содержимому СЧАМК прибавляется единица, адресуя следующую микрокоманду. Если в СЧАМК находится адрес выхода ОЛЦ, то y_0 не формируется и в СЧАМК под действием Φ_1 заносится адрес перехода, а в РП под действием Φ_2 - код очередного состояния. Для адресации памяти используются переменные $T_r \in \{T_1, \dots, T_R\} = T$ где $R = \lceil \log_2 M \rceil$, M - число операторных вершин ГСА; для кодирования состояний используются переменные $\tau_r \in \{\tau_1, \dots, \tau_{R_0}\} = \tau$, где $R_0 = \lceil \log_2 M_0 \rceil$, M_0 - число состояний автомата S_1 . Переходы автомата S_1 зависят от логических условий $x_j \in X$.

Эта структура КМУУ относится к корневым, остальные корневые структуры приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Корневые структуры композиционных микропрограммных устройств управления

Тип структуры	Структурная схема	Система уравнений и название
<p>U_1</p>		<p> $\Phi_1 = \Phi_1(\tau, X)$ $\Phi_2 = \Phi_2(\tau, X)$ $Y_0 \# \text{СЧАМК} := \text{СЧАМК} + 1$ $Y_0 \# \text{СЧАМК} := \langle \Phi_1 \rangle$ $\text{РП} := \langle \Phi_2 \rangle$ </p> <p>КМУУ с базовой структурой.</p>
<p>U_2</p>		<p> $\Phi = \Phi(\tau, X)$ </p> <p>КМУУ с общей адресацией. Условие применения: $R = R_0$</p>
<p>U_3</p>		<p> $\Phi = \Phi(\tau, X) \quad \tau = \tau(\tau)$ </p> <p>КМУУ с преобразователем адреса. Условие применения: $R_1 < R$</p>

Таблица 1

Корневые структуры композиционных микропрограммных устройств управления (продолжение)

Тип структуры	Структурная схема	Система уравнений и название
<p>U₄</p>		<p> $\Phi_1 = \Phi_1(\tau, X)$ $\Phi_2 = \Phi_2(\tau, X)$ $T = T' * \tau$ $Y_0 \# \text{СЧАМК} := \text{СЧАМК} + 1$ $Y_0 \# \text{СЧАМК} := \langle \Phi_1 \rangle$ $\text{РП} := \langle \Phi_2 \rangle$ </p> <p>КМУУ с разделением кодов $A(Y_1) = K(d_g) * A(b_1)$.</p> <p>Условие применения: $R = R_2 + R_3$</p>
<p>U₅</p>		<p> $\Phi_1 = \Phi_1(\tau, X)$ $\Phi_2 = \Phi_2(\tau, X)$ $T = T' * T''$ $\tau = \tau(T'')$ </p> <p>КМУУ с преобразователем кодов псевдоэквивалентных ОЛЦ.</p> <p>Условие применения: $R_1 < R_2$</p>
<p>U₆</p>		<p> $\Phi_1 = \Phi_1(\tau, X)$ $T = T' * \tau$ </p> <p>КМУУ с элементарными ОЛЦ и разделением кодов.</p> <p>Условие применения: $R_2 = R_4$</p>

Таблица 1

Корневые структуры композиционных микропрограммных устройств управления (окончание)

Тип структуры	Структурная схема	Система уравнений и название
<p>U_7</p>		<p> $\Phi_1 = \Phi_1(\tau, X)$ $\Phi_2 = \Phi_2(T, X)$ $T = T' * T''$ $\tau = \tau(T'')$ </p> <p>КМУУ с преобразователем кодов элементарных псевдоэквивалентных ОЛЦ и разделением кодов.</p> <p>Условие применения: $R_5 < R_4$</p>

2. Корневые структуры композиционных микропрограммных устройств управления.

1. КМУУ с общей адресацией (U_2). Здесь адрес микрокоманды используется как код состояния автомата Мура S_1 . Это позволяет уменьшить число выходов ПЛИС схемы КС. Дополнительный сигнал y_k используется как признак окончания ГСА.
2. КМУУ с преобразователем адреса (U_3). В схеме использован преобразователь ПА адреса микрокоманды в код класса $V_i \in \Pi_C$ псевдоэквивалентных ОЛЦ. ОЛЦ $d_i, d_i \in C$ называется псевдоэквивалентными, если их выходы объединены. Для кодирования классов из множества $\Pi_C = \{V_1, \dots, V_l\}$ используются переменные $\tau_r \in \tau = \{\tau_1, \dots, \tau_{R_1}\}$, где $R_1 = \lceil \log_2 l \rceil$. При выполнении условия $R_1 < R$ уменьшается число входов и термов ПЛИС схемы КС.
3. КМУУ с разделением кодов (U_4). Адрес микрокоманды Y_t ($t=1, \dots, M$) представляется в виде конкатенации кода ОЛЦ d_g , содержащей вершину b_t , в которой записана Y_t , и адреса вершины b_t в ОЛЦ d_g : $A(Y_t) = K(d_g) * A(b_t)$. Для кодирования ОЛЦ используется $R_2 = \lceil \log_2 G \rceil$ переменных $\tau_r \in \tau$, для кодирования компонент - R_3 переменных $T_r \in T$, где $R_3 = \lceil \log_2 L_{max} \rceil$, L_{max} - число компонент в наиболее длинной ОЛЦ. Такой подход позволяет использовать оптимальное кодирование псевдоэквивалентных ОЛЦ и уменьшить число входов и термов в ПЛИС схемы КС. Схема особенно эффективна, если разделение кодов не приводит к увеличению разрядности адреса памяти, то есть, если $R = R_2 + R_3$.

4. КМУУ с разделением кодов и преобразователем кодов ОЛЦ (U_5). Если $R_1 < R_2$, то целесообразно использовать преобразователь кодов (ПК), формирующий коды классов псевдоэквивалентных ОЛЦ.
5. КМУУ с элементарными ОЛЦ и разделением кодов (U_6). Для уменьшения выходов схемы КС выполняется разбиение множества C на элементарные ОЛЦ, имеющие только один вход. Для этого входа адрес компоненты будет всегда нулевым. Однако число ОЛЦ увеличивается до G_0 и метод целесообразен при $R_2 = R_4$, где $R_4 = \lceil \log_2 G_0 \rceil$.
6. КМУУ с преобразователем кодов элементарных ОЛЦ и разделением кодов (U_7). Эта структура целесообразна, если для кодирования классов псевдоэквивалентных элементарных ОЛЦ требуется меньше переменных, чем для кодирования ОЛЦ. При выполнении условия $G_0 > G$ число классов разбиения P_C увеличивается до I_0 , а число кодирующих классы переменных $\tau_r \in \tau$, до $R_5 = \lceil \log_2 I_0 \rceil$.

Отметим, что структуры $U_4 - U_7$ наиболее эффективны, если разделение кодов не приводит к увеличению длины адреса микрокоманды.

3. Многоуровневая реализация схем КМУУ.

Дальнейшая оптимизация схемы возможна за счет увеличения числа уровней, для чего используется [4]:

1. Замена логических условий.
2. Кодирование наборов микроопераций.

Замена логических условий. Множество логических условий $X = \{x_1, \dots, x_L\}$ заменяется множеством $P = \{p_1, \dots, p_K\}$, где $K \ll L$. Переменные $p_k \in P$ представляется в виде

$$P_k = \bigvee_{m=1}^M C_{mkl} A_m x_l, \quad (1)$$

где C_{mkl} - булева переменная, равная единице, если переходы из микрокоманды с адресом A_m зависят от $x_l \in X$, которое заменяется на $p_k \in P$. Наиболее просто система (1) реализуется на мультиплексорах, объединение которых называется M -подсхемой [4]. Существует ряд модификаций этого метода, уменьшающих число управляющих входов мультиплексоров:

- 1) MC -подсхемы, в которых адрес микрокоманды преобразовывается в код управления, общий для всех мультиплексоров.
- 2) ML -подсхемы, в которых адрес микрокоманды преобразовывается в коды управления, индивидуальные для каждого мультиплексора.

Для повышения регулярности схемы автомата исходная ГСА может быть преобразована так, что переходы из каждой микрокоманды зависят не более, чем от k логических условий, где $k \in \{1, 2, \dots, K-1\}$. Это порождает соответственно M_1- , M_1C- , M_1L- , ..., $M_{K-1}L-$ подсхемы, преобразующие x в P .

Кодирование наборов микроопераций. При максимальном кодировании наборов микроопераций каждому набору $Y_S \in Y$, ставится в соответствие код $K(Y_S)$ разрядности $Q = \lceil \log_2 S \rceil$, где S - число различных наборов. Для формирования микроопераций используется Y -подсхема, реализуемая на ПЗУ [4]. При кодировании полей совместимых микроопераций множество Y разбивается на классы Y^1, \dots, Y^l [1]. Микрооперации в каждом классе Y^l кодируются Q_l - разрядными кодами $K(y_n^l)$, где

$Q_i = \lceil \log_2 S_i \rceil$, где $S_i = |Y^i|$ ($i = \overline{1, I}$). Общая разрядность кода микрокоманды $K(Y_S)$ определяется как

$$Q = \sum_{i=1}^I Q_i, \tag{2}$$

а код набора представляется как $K(Y_S) = K(y_S^1) * \dots * K(y_S^I)$, где * - знак конкатенации. Микрооперации одного класса формируются одним дешифратором, объединение которых порождает D-подсхему [4]. Для уменьшения числа дешифраторов и, соответственно, уменьшения значения (2), исходная ГСА преобразовывается таким образом, что число классов совместимых микроопераций уменьшается до $I_0 \in \{1, 2, \dots, I-1\}$. Это порождает $D_{1-}, D_{2-}, \dots, D_{I-1}$ -подсхемы.

Все многообразие структур КМУУ представлено в Табл.2. Каждой структуре соответствует слово $S=A \cdot B \cdot C$, где A - префикс, B - корень, C - суффикс слова. Признаки A и C могут быть нулевыми. Как следует из таблицы, существует:

1. $n_B = 7$ корневых структур КМУУ.
2. $n_{AB} = 7 \times 3K = 21K$ структур КМУУ с заменой логических условий.
3. $n_{BC} = 7(I+1)$ структур КМУУ с кодированием наборов микроопераций.
4. $n_{ABC} = 21K(I+1)$ структур КМУУ с заменой логических условий и кодированием наборов микроопераций.

Общее число структур КМУУ $n_0 = n_B + n_{AB} + n_{BC} + n_{ABC} = 7(2+6K+I+3KI)$. Для автоматов средней сложности $I=K=6$ [4], что определяет $n_0=1064$ структуры. Такое количество структур порождает проблему выбора оптимальной структуры, которая до настоящего времени не имеет точного решения.

Таблица 2

Многоуровневые структуры КМУУ

A	B	C
M	U_1	Y
MC	U_2	D
ML	U_3	D_{I-1}
.	.	.
.	.	.
.	.	.
M_1L	U_7	D1

Заключение

Композиционные микропрограммные устройства управления являются эффективным средством реализации алгоритма функционирования цифровых схем. Оптимизация схемы КМУУ возможна за счет увеличения числа уровней устройства. Это порождает как большое количество потенциальных решений, так и проблему выбора оптимального по заданному критерию решения. Проблема выбора усложняется из-за отсутствия точных аналитических оценок числа ПЛИС в комбинационной схеме. Получение таких оценок становится одной из наиболее актуальных задач в области синтеза устройств управления на стандартных БИС.

Литература

1. Баркалов А.А. Микропрограммное устройство управления как композиция автоматов с программируемой и жесткой логикой // Автоматика и вычислительная техника, -1983, №2. – с.57-60.
2. Соловьев В.В. Проектирование функциональных узлов цифровых систем на программируемых логических устройствах. - Минск: Бестпринт, 1996. – 252 с.
3. Баркалов А.А., Палагин А.В. Синтез микропрограммных устройств управления. – Киев: ИК НАН Украины, 1997. – 135 с.
4. Скляр В.А. Синтез автоматов на матричных БИС. – Минск; Наука и техника, 1984. – 287 с.