

# ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОПИСАНИЙ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНВЕРСНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

Кириенко Н. А.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: kir@newman.bas-net.by

*Рассматривается новый подход к выполнению оптимизационных преобразований схемы на этапе технологически независимой оптимизации, который заключается в построении и анализе инверсных представлений логических функций. Представлен алгоритм получения инверсных форм. Показано, что рассматриваемое преобразование систем булевых функций позволяет сократить число литералов в функциональном описании.*

## ВВЕДЕНИЕ

В процессе синтеза логических устройств различают два больших этапа: технологически независимую оптимизацию исходного представления логического устройства и технологическое отображение оптимизированного описания в схему, состоящую из элементов целевой библиотеки проектирования. Этап технологически независимой оптимизации характеризуется выполнением ряда процедур преобразования исходного описания устройства с целью сокращения значений его характеристик – числа промежуточных переменных, конъюнкций, рангов логических выражений и др. Одним из часто используемых критериев качества описания схемы является число литералов, содержащихся в функциональном описании схемы.

В настоящей работе предлагается использование инверсных представлений логических функций в функциональном описании с целью сокращения числа литералов. Приводятся алгоритм такого преобразования и его исследование на группе примеров.

### I. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНВЕРСНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ В ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ОПИСАНИИ ЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Исходное функциональное описание логической схемы чаще всего представлено системой логических уравнений, где входные переменные и функции заданы булевыми значениями.

Рассмотрим пример функционального описания, заданного системой логических уравнений, которая содержит три булевы функции  $y_1, y_2, y_3$ .

$$y_1 = \bar{x}_1 * \bar{x}_2 * \bar{x}_3 + \bar{x}_1 * \bar{x}_2 * x_3 + \bar{x}_1 * x_2 * \bar{x}_3 + \bar{x}_1 * x_2 * x_3 + x_1 * \bar{x}_2 * \bar{x}_3 + x_1 * \bar{x}_2 * x_3 + x_1 * x_2 * \bar{x}_3; \quad (1)$$

$$y_2 = y_1 * x_3 + \bar{y}_1 * \bar{x}_3 + y_1 * x_4; \quad (2)$$

$$y_3 = \bar{y}_1 * x_1 + y_1 * \bar{x}_1. \quad (3)$$

Каждое из уравнений можно охарактеризовать числом литералов – общим числом входящих переменных в правой части уравнения. Повторение переменной считается новым входением и увеличивает число литералов. Таким образом, в уравнении (1) – 21 литерал, в уравнении (2) – 6 литералов, в уравнении (3) – 4 литерала. Согласно предлагаемому подходу выполняется инверсия одной из функций, в нашем случае  $y_1$ , при этом инвертируются все входения переменной  $y_1$  в остальных уравнениях системы. Полученное состояние системы уравнений представлено уравнениями (4 – 6).

$$y_1 = x_1 * x_2 * x_3; \quad (4)$$

$$y_2 = \bar{y}_1 * x_3 + y_1 * \bar{x}_3 + \bar{y}_1 * x_4; \quad (5)$$

$$y_3 = y_1 * x_1 + \bar{y}_1 * \bar{x}_1. \quad (6)$$

Число литералов в уравнении (4) сократилось до 3, в уравнениях (5) и (6) не изменилось. Таким образом, достигнут выигрыш 18 литералов благодаря инвертированию функции  $y_1$ .

В настоящей работе рассматривается алгоритм преобразования функционального описания логической схемы путем инвертирования функций, который в дальнейшем может использоваться в процедурах оптимизации.

### II. АЛГОРИТМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ ЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПУТЕМ ИНВЕРТИРОВАНИЯ ФУНКЦИЙ

Одна из задач алгоритма – выполнить операцию отрицания логического выражения по правилам алгебры логики, затем упростить полученное выражение. Эта операция реализована в виде библиотечного модуля ликвидации промежуточных переменных в системе логических уравнений *SeqSdnf*, который имеется во всех экспериментальных системах [1] логического проектирования, разработанных в лаборатории логического проектирования ОИПИ НАН Беларуси.

Модуль *SeqSdnf* работает с матричными представлениями – системами дизъюнктивных нормальных форм (ДНФ) булевых функций. Он

выполняет подстановку подчиненных ДНФ в сжатом виде с выделением каскадов и проверкой на ацикличность [2]. Над логическим выражением выполняются преобразования алгебры логики с целью его упрощения.

Чтобы использовать модуль *SeqSdnf* для получения инверсного представления булевой функции, необходимо выполнить следующие действия:

1. Создать подсистему уравнений (например, (7, 8)), где выходная переменная уравнения для булевой функции заменяется на некоторую временную промежуточную переменную (например,  $U$  в уравнении (8)). В подсистему добавляется уравнение, где выходной переменной присваивается инверсия временной промежуточной переменной (7).

$$\begin{aligned} y1 &= \bar{U}; & (7) \\ U &= \bar{x}1 * \bar{x}2 * \bar{x}3 + \bar{x}1 * \bar{x}2 * x3 + & (8) \\ &+ \bar{x}1 * x2 * \bar{x}3 + \bar{x}1 * x2 * x3 + \\ &x1 * \bar{x}2 * \bar{x}3 + x1 * \bar{x}2 * x3 + \\ &+ x1 * x2 * \bar{x}3. \end{aligned}$$

2. Перевести подсистему в формат ДНФ и обработать модулем *SeqSdnf*. В результате будет получено уравнение для инверсного представления выходной переменной, в нашем примере это инверсное представление для переменной  $y1$  (4).

Алгоритм преобразования системы логических уравнений строит для каждого уравнения инверсное представление. Затем анализирует полученные варианты уравнений в прямой и инверсной формах, и оставляет в системе уравнение с меньшим числом литералов.

Алгоритм реализован в процедуре *INVFUNC* экспериментальной системы логического проектирования FLC [1], разработанной в лаборатории логического проектирования ОИПИ НАН Беларуси.

### III. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование метода выполнялось в системе FLC. В качестве примеров в эксперименте использовались многоуровневые описания комбинационной логики из набора Berkeley PLA test set [3]. Результаты эксперимента представлены в таблице 1. Для каждого примера выполнялась процедура *INVFUNC*. В столбце 2 приведены числа  $n$  и  $m$  аргументов и функций системы. В столбцах 3, 4, 5 представлены числа литералов ( $L_s$ ), дизъюнкций ( $D_s$ ), конъюнкций ( $K_s$ ) в исходном представлении схемы. В столбцах 6, 7, 8 представлены числа литералов ( $L_r$ ), дизъюнкций ( $D_r$ ), конъюнкций ( $K_r$ ) в результирующем представлении схемы. В столбце 9 представлена величина относительного выигрыша по числу литералов, как отношение числа литералов в исходном представлении к числу литералов в результирующем представлении.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя результаты, представленные в таблице 1, можно сделать вывод о том, что путем построения инверсных форм можно добиться значительного выигрыша по числу литералов в описании. Максимальный выигрыш составил 2,96. В 8 случаях из 13 достигается выигрыш по количеству дизъюнкций, во всех случаях достигается выигрыш по количеству конъюнкций в описании.

1. Бибило, П. Н. Логическое проектирование дискретных устройств с использованием продукционно-фреймовой модели представления знаний / П. Н. Бибило, В. И. Романов // Минск : Беларуская навука. – 2011. – 279 с.
2. Торопов, Н. Р. Минимизация систем булевых функций в классе ДНФ / Н. Р. Торопов // Логическое проектирование. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси. – 1999. – Вып. 4. – С. 4 – 19.
3. Berkeley PLA test set [Electronic resource] / Mode of access: <http://www1.cs.columbia.edu/cs6861/sis>. Date of access: 03.09.2020.

Таблица 1 – Результаты экспериментального исследования эффективности оптимизации

Пример	$n, m$	$L_s$	$D_s$	$K_s$	$L_r$	$D_r$	$K_r$	Выигрыш лит.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
C8	28, 18	365	103	212	275	86	131	1,33
frg1	28, 3	792	116	673	268	41	222	2,96
alu2	10, 4	730	139	532	721	140	521	1,01
ttt2	24, 21	719	203	449	346	119	145	2,08
frg2	143, 139	2855	801	1528	2110	613	925	1,35
gary	15, 11	3810	431	3368	1549	298	1229	2,46
apex6	135, 951	905	242	4248	884	244	400	1,02
x3	135, 99	1816	523	9618	1483	443	658	1,22
term1	34, 10	997	293	557	649	201	299	1,54
9symml	9, 1	277	70	164	254	71	140	1,09
lal	26, 19	258	67	120	224	72	80	1,15
comp	32, 1	200	55	90	160	55	50	1,25
sct	19, 15	236	76	120	177	50	85	1,33