

СХЕМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ В ЗАКАЗНЫХ СБИС РАЗРЕЖЕННЫХ СИСТЕМ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ НОРМАЛЬНЫХ ФОРМ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

Бибило П. Н., Кардаш С. Н.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: bibilo@newman.bas-net.by, kardash77@gmail.com

Приводятся результаты экспериментального исследования эффективности программ блочного покрытия и минимизации многоуровневых представлений булевых функций, выполняемых при синтезе комбинационных схем в библиотеке проектирования заказных СБИС (сверхбольших интегральных схем) по системам разреженных ДНФ (дизъюнктивных нормальных форм) булевых функций.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема эффективной схемной реализации цифровых комбинационных блоков в заказных СБИС по-прежнему является актуальной при создании средств автоматизированного проектирования цифровых систем. Важным аспектом этой проблемы является то, что современные синтезаторы логических схем чувствительны к форме задания проектной информации, в качестве которой выступают VHDL либо Verilog описания моделей функционирования комбинационных схем – те или иные формы задания систем полностью определенных булевых функций. Синтез логических схем выполняется в два этапа – технологически независимая оптимизация представлений систем булевых функций (этап 1) и технологическое отображение (этап 2) в заданную библиотеку логических элементов заказной СБИС. Важнейшим является первый этап, на котором выбирается форма представления системы булевых функций и осуществляется логическая минимизация этой формы. Результат выполнения первого этапа определяет важнейшие параметры синтезированной на втором этапе логической схемы – площадь, временную задержку и энергопотребление.

I. БЛОЧНОЕ ПОКРЫТИЕ МАТРИЧНЫХ ФОРМ РАЗРЕЖЕННЫХ СИСТЕМ ДНФ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

Рассматриваются разреженные матричные формы системы ДНФ полностью определенных булевых функций. Для таких форм систем ДНФ троичная матрица, задающая элементарные конъюнкции, содержит большую долю неопределенных значений (отсутствующих литералов булевых переменных), а булева матрица, задающая вхождения конъюнкций в ДНФ функций, содержит большую долю нулевых значений и, следовательно, небольшую долю единичных значений. В качестве базовых многоуровневых представлений использованы бинарные диаграммы решений с инверсными кофакторами (BDDI-представления) и булевы сети (Bool-представления) [1]. Минимизация BDDI-представлений выполняется по матричным заданиям систем ДНФ булевых функций,

Bool-представлений – по логическим уравнениям, задающим те же системы ДНФ.

Пусть (T, B) – пара матриц, задающая матричную форму системы ДНФ булевых функций, где T – троичная матрица, задающая общие элементарные конъюнкции, B – булева матрица, единичные элементы которой отмечают вхождения элементарных конъюнкций в ДНФ функций.

Рассмотрим пару (T_i, B_i) подматриц, где T_i – строчная (образованная некоторыми строками матрицы T) подматрица матрицы T , B_i – подматрица матрицы B , заданная на том же подмножестве строк, что и T_i . Назовем пару (T_i, B_i) блоком H_i .

Множество $(H_1, \dots, H_v) = ((T_1, B_1), \dots, (T_v, B_v))$ блоков назовем блочным покрытием пары матриц (T, B) , если каждый единичный элемент матрицы B входит только в одну из подматриц B_i , а каждая строка матрицы T входит хотя бы в одну из подматриц T_i , $i = 1, \dots, v$.

Задача блочного покрытия системы ДНФ по критерию минимальности площади блоков: найти покрытие пары (T, B) возможно меньшим числом блоков (T_i, B_i) , $i = 1, \dots, w$, имеющих возможно меньшую суммарную площадь.

Для разреженных систем ДНФ булевых функций предлагаются алгоритмы и программы [2] решения задачи блочного покрытия.

II. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Проведено экспериментальное исследование эффективности применения блочных и многоуровневых BDDI и Bool-представлений при синтезе комбинационных блоков заказных СБИС в библиотеке КМОП элементов [1]. Во всех экспериментах после логической оптимизации полученные представления систем булевых функций конвертировались в VHDL описания, синтез выполнялся в синтезаторе LeonardoSpectrum. Синтезированные схемы сравнивались по площади и временной задержке.

Эксперимент 1. Реализация исходных систем ДНФ, логическая минимизация не выполнялась.

Эксперимент 2. Для систем ДНФ функций сначала выполнялось блочное покрытие по критерию минимальности суммарной площади блоков, затем для каждого блока выполнялась совместная BDDI-минимизация.

Эксперимент 3. Для систем ДНФ функций сначала выполнялось блочное покрытие по критерию минимальности суммарной площади блоков, затем для каждого блока выполнялась совместная Bool-минимизация.

Результаты экспериментов на потоке разреженных систем ДНФ из библиотеки примеров LGSynth91 приведены в таблицах 1–3, где

Z – число литералов в задании системы булевых функций;

$Area$ – суммарная площадь элементов схемы в условных единицах;

$Delay$ – временная задержка схемы (нс);

p – ограничение на число входов блока;

r – число блоков в блочном покрытии системы ДНФ.

Символом * отмечены лучшие решения по площади и временной задержке.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных экспериментов установлено: для разреженных систем ДНФ предлагаемый подход позволил в шести случаях из двенадцати улучшить решения по площади схем, получаемые синтезатором LeonardoSpectrum, и увеличить быстродействие в девяти случаях.

Таблица 1 – Эксперимент 1

Имя	Z	$Area$	$Delay$
C8	204	*21 500	*2.20
DALU	1 404	106 249	10.79
LAL	529	*26 343	3.80
PM1	124	*10 764	2.58
SCT	253	20 406	3.20
TTT2	1 263	21 500	*3.85
ALU4	7 875	487 848	9.94
APEX5	204	*188559	8.77
I2c	7 106	280 601	9.12
X1	2 148	*67 546	*3.99
X3	5 045	203 659	6.75
X4	2 649	*95 781	5.38

Таблица 2 – Эксперимент 2

Имя	Z	p	r	$Area$	$Delay$
C8	266	12	5	22 169	2.20
DALU	1 305	20	12	68 305	5.33
LAL	588	14	4	27 710	*3.25
PM1	198	8	6	11 127	*2.20
SCT	397	10	6	*19 301	*2.93
TTT2	1 106	15	7	57 189	4.64
ALU4	3 469	14	7	373 492	11.83
APEX5	6 126	40	117	195 903	*6.94
I2c	6 807	40	183	278 258	*6.56
X1	1 709	25	7	81 652	4.66
X3	4 238	25	135	229 427	6.74
X4	3 402	15	189	123 720	5.75

Таблица 3 – Эксперимент 3

Имя	Z	p	r	$Area$	$Delay$
C8	255	12	21	22314	2.20
DALU	1 030	20	34	*48044	*4.63
LAL	523	14	27	26829	3.73
PM1	168	8	20	11099	2.44
SCT	356	10	25	20116	2.95
TTT2	1 056	15	40	*41415	5.11
ALU4	3 512	14	7	*315415	11.83
APEX5	5 949	50	107	242981	6.98
I2c	4 859	40	88	*259565	7.63
X1	1 492	25	7	73087	4.71
X3	3 766	25	135	*198252	*6.67
X4	3 030	15	189	103799	*4.75

Наряду с методами минимизации систем функций в классе ДНФ эффективным методом технологически независимой оптимизации разреженных матричных форм систем ДНФ является комбинированный подход, включающий блочное покрытие системы ДНФ и последующую совместную минимизацию многоуровневых представлений блоков, при этом функции блока целесообразно минимизировать в классе булевых сетей с использованием разложений Шеннона.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бибило П.Н., Ланкевич Ю.Ю. Экспериментальное сравнение эффективности алгоритмов оптимизации BDD-представлений систем булевых функций // Программные продукты и системы. – 2020. – Т. 33. – № 3. – С. 449–463.
2. Кардаш С. Н. Построение блочных разбиений систем булевых функций на основе задачи покрытия булевых матриц // IX Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics» (BIG DATA 2023): Материалы междунар. науч. конф., (Республика Беларусь, Минск, 17–18 мая 2023 г.). – Минск: БГУИР, 2023. – Часть 2. – С. 326 – 330.