

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ДЕКОМПОЗИЦИИ СИСТЕМ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ, ЗАДАНЫХ МАТРИЧНЫМИ ФОРМАМИ И ДИАГРАММАМИ ДВОИЧНОГО ВЫБОРА

П. Н. Бибило

Объединенный институт проблем информатики

Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

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

*Описываются результаты вычислительных экспериментов по сравнению эффективности применения программ декомпозиции систем булевых функций, заданных в виде дизъюнктивных нормальных форм (ДНФ) и в виде диаграмм двоичного выбора, при синтезе схем в базе программируемых логических матриц (ПЛМ) и в базе библиотечных логических элементов.*

## ВВЕДЕНИЕ

Декомпозиция (разложение) булевых функций обычно ориентируется на уменьшение числа аргументов функций, получаемых в результате разложения. Уменьшение числа входных переменных, т. е. сокращение размерностей задач оптимизации и логического синтеза позволяет применять более эффективно проектные процедуры для полученных подфункций (блоков) функционального разложения. Если исходные системы функций заданы в виде ДНФ (двухуровневых И/ИЛИ представлениях систем функций) на общем множестве элементарных конъюнкций, то задача декомпозиции системы ДНФ булевых функций по параметрам число аргументов, функций, конъюнкций может быть интерпретирована как декомпозиция одной «большой» ПЛМ в сеть ПЛМ меньших размеров. Замена одной ПЛМ сетью нескольких ПЛМ меньших размеров обычно осуществляется с целью уменьшения площади кристалла заказной СБИС, однако может применяться и для удовлетворения электрических параметров ПЛМ. Декомпозиция булевых функций используется также при синтезе схем из библиотечных логических элементов. При синтезе в таком базисе исходными (оптимизированными на этапе технологически независимой оптимизации) часто являются не минимизированные системы ДНФ функций, а многоуровневые представления – диаграммы двоичного выбора (Binary Decision Diagram – BDD), построенные на базе разложения Шеннона.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Эффективные алгоритмы оптимизации, проводимой на этапе синтеза логических схем, являются комбинированными и используют процедуры оптимизации двухуровневых и многоуровневых представлений систем булевых функций. Общая схема экспериментов синтеза схем в базисе ПЛМ представлена на рис. 1. Перечислим программы, применяемые в экспериментах

в качестве базовых процедур технологически независимой оптимизации, предваряющей этап синтеза схемы в базисе ПЛМ, который выполнялся в системе FLC [1].

1. Программа ESPRESSO ПС совместной ДНФ-минимизации систем булевых функций  $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = (f^1(\mathbf{x}), \dots, f^m(\mathbf{x}))$ ,  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$  в классе ДНФ является широко известной программой минимизации, которой посвящена монография [2]. Входными и результирующими данными этой процедуры являются текстовые матричные представления исходных и минимизированных систем ДНФ булевых функций соответственно.

2. Программа SEPT\_BDD раздельной декомпозиции систем ДНФ на основе аппарата BDD-представлений систем булевых функций реализует метод, описанный в работе [3]. В результате применения процедуры функции входного блока представлены в виде системы ДНФ, а выходного блока – в виде BDD. Для рассматриваемых далее процедур совместной декомпозиции исходными данными являются системы ДНФ, результатом – суперпозиции вида  $\textcircled{1}$ ,

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{f}(\mathbf{y}, \mathbf{z}) = \mathbf{g}(\mathbf{h}(\mathbf{y}), \mathbf{z}), \quad (1)$$

где  $\mathbf{h}(\mathbf{y}) = (h_1(\mathbf{y}), \dots, h_p(\mathbf{y}))$  – векторная функция, имеющая минимальное число компонент. При этом каждая из векторных функций  $\mathbf{h}(\mathbf{y})$  (входной блок),  $\mathbf{g}(\mathbf{h}(\mathbf{y}), \mathbf{z})$  (выходной блок) представляются в виде систем ДНФ.

3. Программа DECU\_BDD совместной декомпозиции систем ДНФ на основе аппарата BDD-представлений систем булевых функций описана в [3]. Алгоритмы выбора разбиения переменных, реализуемые в процедурах SEPT\_BDD, DECU\_BDD, описаны в работе [3].

4. Программа DEC\_FT совместной декомпозиции матричных представлений систем ДНФ булевых функций реализует метод декомпозиции на основе компактных таблиц и описана в [4].

5. Программа DEC\_HIE совместной декомпозиции матричных представлений систем ДНФ

булевых функций описана в [5] и получает промежуточные переменные методом размещения кодов (значений промежуточных переменных) в вершинах гиперкуба [5]. Следует отметить, что при такой оценке не принимается во внимание число конъюнкций, на которых заданы функции системы, входящие в построенные разложения. Данная программа применяется для систем функций, которые зависят от не более, чем 20 переменных.

6. Программа TIE\_BDD совместной BDD-минимизации систем булевых функций реализует алгоритм [6] минимизации многоуровневых представлений системы булевых функций на основе разложения Шеннона. Исходные данные – системы ДНФ, результат – многоуровневые формульные представления BDD.

Синтез схем из библиотечных элементов выполнялся в системе LeonardoSpectrum [7], при этом совместная минимизация блоков разложения в классе ДНФ заменялась минимизацией в классе BDD.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные на большом числе практических примеров [8] эксперименты показали, что не только применение совместной минимизации функций в классе ДНФ, но и декомпозиция может обеспечить сокращение площади схем ПЛИМ. BDD-представления являются более эффективными при синтезе схем из библиотечных элементов, так как минимизация BDD чаще приводит к схемам меньшей сложности. Декомпозиция может быть также полезной при синтезе и в таком базисе, однако в этом случае (при синтезе по декомпозированным системам функций) желательно испытывать оба варианта представления полученных подсистем функций как в виде BDD,

так и в виде ДНФ. Экспериментальные исследования комбинированных алгоритмов позволили выяснить области их предпочтительного использования при получении схем с меньшей площадью и пониженным энергопотреблением. Полученные результаты экспериментального исследования могут быть использованы в экспертной системе логического проектирования для формирования эффективных маршрутов проектирования функциональных блоков заказных цифровых СБИС.

1. Бибило, П.Н. Логическое проектирование дискретных устройств с использованием продукционно-фреймовой модели представления знаний / П.Н. Бибило, В.И. Романов. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 279 с.
2. Brayton, K.R. Logic minimization algorithm for VLSI synthesis / K.R. Brayton, G.D. Hachtel, C.T. McMullen, A.L. Sangiovanni-Vincentelli. – Boston, e.a.: Kluwer Academic Publishers, 1984. 193 p.
3. Бибило, П.Н. Применение диаграмм двоичного выбора при синтезе логических схем / Бибило П.Н. – Минск: Беларус. навука, 2014. – 231 с.
4. Тагави Афшорд, С.Х. Исследование свойств разложимости систем булевых функций / С.Х. Тагави Афшорд, Ю. В. Потгосин // Информатика. – 2013. – № 4. – С. 94 – 103.
5. Потгосин, Ю. В. Табличные методы декомпозиции систем полностью определенных булевых функций / Ю. В. Потгосин, Е. А. Шестаков. – Минск: Беларус. навука, 2006. – 327 с.
6. Бибило, П.Н. Алгоритм построения диаграммы двоичного выбора для системы полностью определенных булевых функций / П.Н. Бибило, П.В. Леончик // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 6. – С. 42–49.
7. Авдеев, Н.А. Эффективность проектирования заказных схем в синтезаторе LeonardoSpectrum / Н.А. Авдеев, П.Н. Бибило // Современная электроника. – 2015. – № 1. – С. 58 – 61.
8. <http://www1.cs.columbia.edu/cs4861/sis/espresso-examples/ex/>

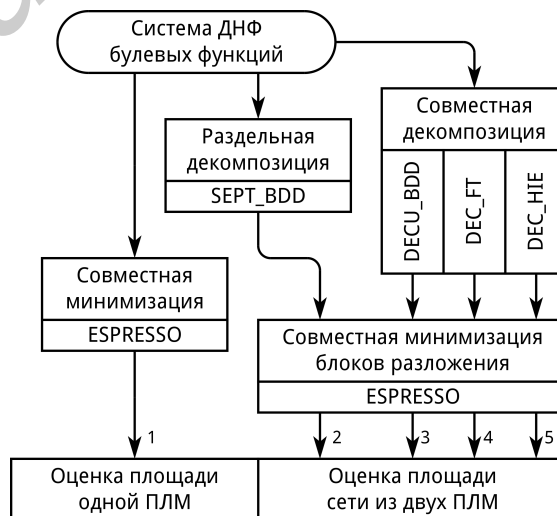


Рис. 1 – Схема экспериментов синтеза схем в базе ПЛИМ