

БАЗОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОПИСАНИЙ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ ПУТЕМ ВЫДЕЛЕНИЯ СВЯЗАННЫХ ПОДСИСТЕМ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

Бибило П. Н., Кириенко Н. А.

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {bibilo, kir}@newman.bas-net.by

Представлены четыре базовых алгоритма для выделения в многоуровневых формульных представлениях систем булевых функций связанных подсистем. Алгоритмы используются на первом этапе синтеза – технологически независимой оптимизации функциональных описаний комбинационных схем. Предложены три формулы для оценки меры связанности подсистемы функций по критериям числа общих внутренних переменных и числа литералов в выделяемых подсистемах. Все алгоритмы реализованы в рамках экспериментальной системы логической оптимизации. Эксперименты показали, что этап выделения связанных подсистем из многоуровневого представления системы булевых функций позволяет часто улучшать результаты технологически независимой оптимизации блоков комбинационной логики в заказных цифровых КМОП СБИС.

ВВЕДЕНИЕ

Синтез комбинационных логических схем всегда предваряется оптимизацией исходного описания, в основе которой, как правило, лежат алгоритмы минимизации представлений тех систем булевых функций, которые требуется реализовать в схеме. Эти преобразования выполняются на этапе предварительной технологически независимой оптимизации. В [1] предложено повысить эффективность оптимизационных преобразований исходных описаний комбинационных схем путем выделения в многоуровневых формульных представлениях систем булевых функций связанных подсистем. В [2, 3] представлены методики и программные комплексы для проведения экспериментальных исследований новых алгоритмов выделения связанных подсистем из различных формульных представлений систем булевых функций. Настоящая работа посвящена разработке и исследованию четырех базовых алгоритмов для решения задачи выделения связанных подсистем функций из многоуровневого представления системы булевых функций.

Через $R(F)$ обозначим множество внутренних формул, т.е. формул, задающих промежуточные (не выходные) булевы переменные для всех функций системы:

$$R(F) = R(f^1, \dots, f^m) = \cup_{i=1}^m R(f^i) \quad (1)$$

Под мерой $q_{ur} = M_{ur}(F \cup f^{m+1})$ связанности системы функций $(F \cup f^{m+1})$ по уравнениям [3] будем понимать величину

$$q_{ur} = \frac{|R(f^1, \dots, f^m) \cap R(f^{m+1})|}{\max(|R(f^1, \dots, f^m)|, |R(f^{m+1})|)} \quad (2)$$

где через $|R(F)|$ обозначена мощность множества $R(F)$.

Через $S(F)$ обозначим число литералов в задании всех формул системы F , задающих как промежуточные, так и выходные булевы переменные для всех функций системы F . Для определения меры связанности системы функций $F \cup f^{m+1}$ по литералам предлагается использовать одно из следующих значений:

$$q_{lit} = \frac{S(f^1, \dots, f^m, f^{m+1})}{S(f^1, \dots, f^m) + S(f^{m+1})} \quad (3)$$

или

$$q_{lits} = \frac{S(f^1, \dots, f^m, f^{m+1})}{S(f^1) + \dots + S(f^m) + S(f^{m+1})} \quad (4)$$

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дано многоуровневое формульное представление системы булевых функций $F = (f^1(\mathbf{x}), \dots, f^m(\mathbf{x}))$. Требуется выделить из системы минимальное число подсистем P^i , каждая из которых характеризуется заданной мерой связанности q_i , вычисляемой по формулам (2), (3) или (4), при этом мера связанности должна быть не меньше заданного ограничения q_{limit} .

II. ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛГОРИТМОВ

Разработанные алгоритмы решения задачи различаются способом определения меры связанности и способом задания ограничения. Разработанные алгоритмы (как и соответствующие им процедуры) носят имена **Splitter1**, **Splitter2**, **Splitter3**, **Splitter4**. Отличительные особенности алгоритмов представлены в таблице.

Таблица1 – Характеристики алгоритмов

Имя алгоритма	Формула	Ограничение	Параметры
<i>Splitter1</i>	(2)	Выделяются подсистемы с максимальным коэффициентом связанности $q_i \geq q_{limit}$	q_{limit}
<i>Splitter2</i>	(3)	Выделяются подсистемы с максимальным коэффициентом связанности $q_i \leq q_{limit}$	q_{limit}
<i>Splitter3</i>	(4)	Выбираются в подсистему функции, имеющие наименьший коэффициент связанности q_i , но не больший заданного порога $q_i \leq q_{limit}$	q_{limit}
<i>Splitter4</i>	(2)	Каждая из функций подсистемы P^i обладает мерой связанности $q_r \geq q_{limit}$, с каждой из n функций подсистемы.	q_{limit}, n

Рассмотрим алгоритм *Splitter2*, который состоит в последовательном формировании (на каждой итерации i) по текущей системе функций очередной подсистемы P^i , которая характеризуется мерой связанности $q_i \leq q_{limit}$. На первой итерации $i=1$ текущую систему функций образуют функции исходной системы, а остаточная подсистема P^{ost} является пустой. Перед выполнением итераций алгоритма требуется составить список W , где каждой функции текущей системы поставлено в соответствие число литералов в уравнениях, задающих функцию. На каждой итерации требуется выполнить шаги 1–3.

Шаг 1. Выбирается первая функция из списка W и помещается в подсистему P^i . Эта функция исключается из списка W .

Шаг 2. Добавляются в формируемую подсистему P^i поочередно те функции f^r , которые находятся с помощью следующей эвристики: из множества функций текущей системы выбирается та функция f^r , которая обеспечивает наименьшее (но не большее q_{limit}) возможное значение меры связанности по формуле (3) для *Splitter2*, или по формуле (4) для *Splitter3*. Если таких функций несколько, то выбирается и добавляется в формируемую подсистему P^i первая из них. Добавляемая функция исключается из списка W .

Шаг 3. Если нет ни одной функции f^r такой, что подсистема $P^i \cup f^r$ имеет меру связанности, не большую q_{limit} , то закончить формирование подсистемы P^i и объявить не входящие в

нее функции текущей системой. Переход на шаг 1 для формирования подсистемы на итерации $i+1$.

Шаг 4. Закончить формирование подсистем, когда все функции текущей системы будут включены в формируемые подсистемы. Формирование подсистем заканчивается (алгоритм прекращает работу) также и тогда, когда в текущей подсистеме нельзя найти ни одной пары функций, характеризующих мерой связанности, не большей q_{limit} , либо когда в текущей системе имеется только одна функция – эта функция добавляется в остаточную подсистему P^{ost} .

Конец алгоритма.

Алгоритм *Splitter4* состоит в последовательном формировании очередной подсистемы P^i , которая содержит функции, характеризующиеся мерой связанности $q_{ur} \geq q_{limit}$ (2) с не менее, чем n функциями подсистемы P^i . Параметрами алгоритма являются значение ограничения q_{limit} и n . Алгоритм *Splitter3* работает по принципу алгоритма *Splitter2* с небольшими отличиями. Алгоритм *Splitter1* отличается от алгоритма *Splitter4* тем, что за одну итерацию цикла (шаги 1 – 3) выбирается одна функция, которая обеспечивает значение меры связанности (2) не меньшее заданного значения q_{limit} со всеми функциями подсистемы P^i .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все алгоритмы реализованы в рамках системы логической оптимизации FLC2 [4]. Эффективность алгоритмов исследована [2, 3] на представительном наборе примеров. Эксперименты показали, что этап выделения связанных подсистем функций из многоуровневого представления системы булевых функций позволяют часто улучшать результаты технологически независимой оптимизации блоков комбинационной логики в заказных цифровых КМОП СВИС.

1. Бибило, П. Н. Выделение подсистем связанных функций из многоуровневого представления системы булевых функций / П. Н. Бибило, А. М. Позняк // Информатика. – 2020. – Т. 17. – N 1. – С. 63–77. DOI: 10.37661/1816-0301-2020-17-1-63-77
2. Бибило, П. Н. Выделение из многоуровневого представления системы булевых функций подсистем для совместной логической минимизации / П. Н. Бибило, Н. А. Кириенко, В. И. Романов // Программные продукты и системы. – 2023. – Т. 36, – N 4. – С. 197–206. DOI: 10.15827/0236-235X.142.197-206
3. Бибило, П. Н. Экспериментальное исследование алгоритма выделения подсистем булевых функций для совместной многоуровневой оптимизации / П. Н. Бибило, Н. А. Кириенко, В. И. Романов // Программная инженерия. – 2024. – Т. 15, – N 4. С. 176–189. DOI: 10.17587/prin.15.176-189.
4. Бибило, П. Н. Система логической оптимизации функционально-структурных описаний цифровых устройств на основе производственно-фреймворк модели представления знаний / П. Н. Бибило, В. И. Романов // Проблемы разработки перспективных микро и нанoeлектронных систем. – 2020. – Сб. трудов / под общ. ред. акад. РАН А. Л. Стемповского. – М. : ИП-ПМ РАН. – 2020. – N 4. – С. 9–16. DOI: 10.31114/2078-7707-2020-4-9-16