

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ СИНТЕЗЕ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ СРЕДСТВАМИ LEONARDOSPECTRUM

Н. А. Кириенко, Л. Д. Черемисинова

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Минск, Республика Беларусь

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

Исследуется влияние процедур предварительной логической оптимизации функциональных описаний комбинационных схем на качество схем, получаемых промышленным синтезатором LeonardoSpectrum. Определены процедуры, позволяющие существенно уменьшить площадь и задержку синтезированных схем.

ВВЕДЕНИЕ

Задача синтеза состоит в представлении исходного функционального описания дискретного устройства логической схемой из элементов заданной технологической библиотеки элементов. Основными критериями качества полученной схемы являются площадь результирующего кристалла СВИС, быстродействие и энергопотребление.

Процесс синтеза, как правило, разбивается на два этапа: технологически независимую оптимизацию и технологическое отображение. На первом этапе исходное функциональное описание представляется в виде многоуровневой схемы из простых элементов типа И, ИЛИ, НЕ. На втором этапе полученное многоуровневое представление преобразуется в функционально эквивалентную схему из элементов заданной технологической библиотеки.

В настоящей работе исследуется эффективность методов логической оптимизации, выполняемых на первом этапе, на качество схем, получаемых на втором этапе с помощью промышленного синтезатора LeonardoSpectrum.

I. СИНТЕЗ СХЕМ С ПОМОЩЬЮ СИНТЕЗАТОРА LEONARDOSPECTRUM

В основе описываемого эксперимента лежит процедура синтеза схем с помощью промышленного синтезатора LeonardoSpectrum (версия 2011a.4) [1]. Синтез выполняется в базе целевой отечественной библиотеки КМОП СВИС. На вход синтезатора подаются различные варианты VHDL-описаний исследуемых схем на уровне RTL. В результате синтеза для каждой схемы строится netlist-описание в заданном базисе. Оценка сложности синтезированных схем производится средствами LeonardoSpectrum: подсчитывается площадь схемы и задержка критического пути.

II. МЕТОДЫ ЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В работе исследуются методы логической оптимизации, реализованные в рамках про-

граммного комплекса ЭЛС логического проектирования КМОП схем [2].

Минимизация систем булевых функций в классе дизъюнктивных нормальных форм (ДНФ), которая выполняется с учетом фактора сложности, оцениваемой числом всех литералов полученной системы ДНФ.

Алгебраическая декомпозиция систем ДНФ булевых функций [3], в основе которой лежит построение факторизованных форм путем поиска факторов – общих частей конъюнкций или дизъюнкций ДНФ системы. Факторизованная форма, является скобочной формой задания многоуровневого представления ДНФ. Специальный термин вводится для обозначения того факта, что заданная система логических уравнений подготовлена для многоуровневой реализации, т.е. удовлетворяет требованиям, накладываемым технологическим базисом, в котором предполагается реализовать описываемую ею комбинационную схему. Преобразование системы ДНФ в факторизованную форму, которой соответствует многоуровневая реализация из вентилях с ограниченным числом входов, разбивается в программном комплексе проектирования КМОП схем [2] на два этапа [3, 4]: совместная нетривиальная факторизация системы ДНФ; построение скобочных выражений ДНФ независимо для каждой из функций системы.

III. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Проводилось сравнение результатов синтеза схем из библиотечных элементов, полученных с помощью синтезатора LeonardoSpectrum, исходя из четырех представлений одних и тех тестовых систем булевых функций из набора Berkeley PLA test set [5]:

1) двухуровневые И-ИЛИ-схемы, соответствующие исходным описаниям систем булевых функций; в этом случае оптимизация проектируемой схемы производилась только средствами синтезатора LeonardoSpectrum (исследуемый вариант 1);

2) двухуровневые И-ИЛИ-схемы, полученные после совместной минимизации систем булевых функций с помощью программы [6], реализующей модифицированный метод ESPRESSO (вариант 2);

3) многоуровневые И-ИЛИ-схемы, полученные после совместной минимизации систем булевых функций и последующей совместной нетривиальной факторизации полученной системы ДНФ (вариант 3);

4) многоуровневые И-ИЛИ-схемы из элементов с ограниченным числом входных полюсов, полученные после совместной минимизации систем булевых функций и последующей алгебраической декомпозиции (вариант 4).

Представления схем по вариантам 2, 3, 4 были получены с помощью программного комплекса ЭЛС [2].

Результаты эксперимента представлены в таблице 1. Для каждого примера приведены следующие параметры:

– числа n , m и k аргументов, функций и конъюнкций;

– величины s_1 и t_1 площади и задержки схем, полученных средствами синтезатора LeonardoSpectrum по варианту 1;

– для вариантов 2, 3, 4 процент относительного выигрыша/проигрыша i -го варианта оптимизации по площади схемы относительно варианта 1: $\%s_i = ((s_1 - s_i)/s_1) * 100\%$;

– для вариантов 2, 3, 4 процент относительного выигрыша/проигрыша i -го варианта оптимизации по задержке схемы относительно варианта 1: $\%t_i = ((t_1 - t_i)/t_1) * 100\%$.

Исследования проводились на компьютере с процессором Intel i5-2400@3,1 GHz и оперативной памятью 2,99 ГБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперименты показали, что выполнение процедуры совместной минимизации систем булевых функций, совместной нетривиальной факторизации системы ДНФ, а также алгебраической декомпозиции системы ДНФ позволяет практически всегда (в 19 из 20 прорешенных примерах) улучшить качество проектируемых схем с помощью промышленного синтезатора LeonardoSpectrum.

1. Бибило, П. Н. Системы проектирования интегральных схем на основе языка VHDL / StateCAD, ModelSim, LeonardoSpectrum / П. Н. Бибило // – М.: Солон-Пресс. – 2005. – 384 с.
2. Бибило, П. Н. Автоматизация логического синтеза КМОП-схем с пониженным энергопотреблением / Л. Д. Черемисинова, С. Н. Кардаш, Н. А. Кириенко, В. И. Романов, Д. И. Черемисин // Программная инженерия. – 2013. – № 8. – С. 35–41.
3. Черемисинова, Л. Д. Синтез и оптимизация комбинационных структур СВИС / Л. Д. Черемисинова // – Минск. – 2005. – 236 с.
4. Черемисинова, Л. Д. Синтез многоуровневых логических схем с учетом энергопотребления / Л. Д. Черемисинова, Н. А. Кириенко // Информационные технологии. – 2013. – № 3. – С. 8–14.
5. Berkeley PLA test set [Electronic resource]. Mode of access: <http://www1.cs.columbia.edu/cs6861/sis/espresso-examples/>. Date of access: 25.02.2016
6. Черемисин, Д. И. Минимизация двухуровневых КМОП-схем с учетом энергопотребления / Д. И. Черемисин, Л. Д. Черемисинова // Информационные технологии. – 2011. – № 5. – С. 17–23.

Таблица 1 – Результаты экспериментального исследования влияния логической оптимизации на площадь и задержку синтезированных схем

Пример	Характеристики	s_1	t_1	$\%s_2$	$\%t_2$	$\%s_3$	$\%t_3$	$\%s_4$	$\%t_4$
b9	16,5,123	26148	3,92	-15,6	-17,1	-8,6	-14,5	-6,7	-21,2
br1	12,8,34	32615	6,54	19,5	16,4	29,20	22,2	38,5	13,6
br2	12,8,35	22632	6,44	5,1	5,1	20,3	-1,6	22,3	-15,7
dc2	8,7,58	32375	4,73	7,5	12,3	16,1	-1,5	15,0	-5,3
dist	8,5,256	110060	7,97	20,0	18,3	26,4	10,3	30,2	25,1
dk48	15,17,148	30082	7,44	41,3	41,0	48,7	39,4	49,5	39,2
f51m	8,8,256	276350	11,17	91,0	56,2	89,1	67,0	90,0	65,1
gary	15,11,446	107627	6,66	5,2	-22,4	8,8	-41,4	11,8	-31,8
in0	15,11,138	133786	9,39	19,4	30,5	33,5	15,0	36,1	24,8
in2	19,10,137	141336	7,77	1,8	11,5	22,2	4,1	33,2	3,6
life	9,1,512	24641	5,54	2,7	11,6	-26,2	9,7	-12,0	-11,7
max1024	10,6,1024	423288	10,77	54,1	16,8	53,0	4,5	55,2	11,9
m1	6,12,32	21773	5,34	-2,9	14,0	-1,8	3,9	8,5	16,3
m2	8,16,96	85960	7,51	28,9	3,5	27,9	-7,9	30,0	-3,3
m3	8,16,128	97120	7,86	15,9	10,7	18,6	-0,6	14,3	0,8
m4	8,16,256	222447	11,01	34,9	25,5	43,6	17,2	45,9	15,8
mlp4	8,8,256	164967	8,06	36,9	23,3	40,7	6,3	43,8	21,8
root	8,5,256	55750	6,47	25,8	23,8	22,0	24,3	23,3	30,9
tms	8,16,30	46465	7,36	7,36	2,7	3,6	14,7	-3,9	9,8
z9sym	9,1,420	59896	9,9	28,2	38,7	19,7	35,2	23,8	44,9