

УДК 681.32

ПОСТРОЕНИЕ И ВИЗУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНЫХ ОПИСАНИЙ ДИСКРЕТНЫХ УСТРОЙСТВ

Логинова И.П.

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь, irilog@email.ru

Аннотация: Предложен подход к повышению эффективности решения задач оптимизации (снижение трудоемкости вычислений, уменьшение временных затрат) посредством организации параллельных вычислений в системе логической оптимизации функционально-структурных описаний дискретных устройств FLC-2. Возможности распараллеливания при выполнении различных программ оптимизации создаются посредством некоторых проектных операций. Оценкой эффективности параллельных решений является сокращение времени выполнения проектных операций с участием программ логической оптимизации.

Ключевые слова: автоматизация проектирования, параллельные вычисления, система булевых функций, OpenMP.

I. ВВЕДЕНИЕ

Синтез логических схем, реализующих функциональные комбинационные блоки цифровых заказных СБИС, остается одной из важных задач автоматизированного проектирования, так как возрастает размерность задач проектирования и, соответственно, растёт время выполнения этапов синтеза. Практически все задачи из области логического проектирования носят комбинаторный характер и имеют экспоненциальную сложность. В силу этого становится проблематично решать задачи большой размерности за приемлемое время. Кроме того, к увеличению размерностей задач синтеза также ведет изменение субмикронных норм производства кристаллов и способов реализации логических элементов на транзисторном уровне.

В настоящее время наиболее перспективным направлением в развитии вычислительных систем является переход на многоядерную архитектуру. Однако, чтобы максимально полностью задействовать все имеющиеся ресурсы процессора требуется разработка принципиально новых алгоритмов вычислений. Для обеспечения оптимальной загрузки процессоров, в состав которых входит более одного ядра, необходимо при выполнении приложений использовать параллельные вычисления. К сожалению, существующие системы автоматизированного проектирования (САПР) не используют в полной мере многоядерные возможности современных процессоров, поскольку применение параллельных вычислений при решении задач проектирования требует полной переработки алгоритмов и соответствующих программных средств.

Представляется интересным и перспективным создание САПР, ориентированных на использование в технологий параллельных вычислений для многоядерных систем. В данном докладе представлен подход к реализации и интеграции параллельных вычислений в систему логической оптимизации функционально-структурных описаний дискретных устройств FLC-2 [1], целью которого является сокращение времени оптимизации при проведении ряда проектных операций.

II. ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В СИСТЕМЕ FLC-2

Одним из наиболее распространенных средств обеспечения параллельных вычислений для систем с общей памятью является технология OpenMP [2]. Данная технология представляет из себя набор директив, функций и переменных окружения, позволяющих последовательную программу превратить в параллельную. Для обеспечения параллельных вычислений средствами OpenMP реализуется многопоточность, при котором программа распределяется между главным (master) потоком и набором подчиненных (slave) потоков, создаваемых им [3]. OpenMP предполагает SPMD-модель параллельного программирования, в рамках которой один и тот же блок кода обрабатывается несколькими процессами. В начале программы должна находиться последовательная область, то есть изначально запускается лишь один процесс, который порождает некоторое количество дочерних процессов при входе в параллельную область программы. Число процессов, выполняющих конкретную параллельную часть программы, остается неизменным до момента завершения расчетов. После того, как дочерние процессы отработают параллельную часть, остается работать родительский процесс, причем в данный момент происходит неявная синхронизация данных программы. Первым, особенно трудоемким, этапом синтеза, является проведение технологически независимой оптимизации, поэтому для получения

эффективных решений, в отдельных случаях, предлагается нахождение такого решения для проекта, составленного из большого числа элементов. Разбиение описания проекта на сеть элементов преследует цели: понижение размерности объекта оптимизации, получение оптимального решения для каждого элемента сети и, в итоге, получение оптимального решения всего проекта. В ситуациях, когда описание проекта может быть представлено в виде сети, применение параллельных вычислений обеспечит еще и сокращение общего времени решения задачи оптимизации. В качестве критерия пригодности сети, получение которой осуществляется путем применения некоторых проектных операций системы FLC-2, является возможность ее представления в виде совокупности не зависящих друг от друга объектов (блоков).

Отличительной особенностью рассматриваемого подхода, который позволяет интегрировать параллельные вычисления в FLC-2 – включение в состав ядра системы FLC-2 программ запускающих параллельные процессы для всех типов используемых в системе программ оптимизации: Minim, Espresso, ABC [4]. Эти программы реализуют мощные, эффективные алгоритмы (принципиально последовательные) совместной и раздельной минимизации систем булевых функций в классе дизъюнктивных нормальных форм.

В системе FLC-2 реализован вариант организации распараллеливания по принципу многозадачного параллелизма [5], когда вне зависимости от вида запускаемых программ (например, различных программ оптимизации) и исходных объектов реализовано параллельное выполнение однотипных задач (ОЗ) с разными входными данными, представляющими собой фиксированные наборы определяющих параметров (ОП) по принципу один вариант ОЗ(ОП) – одно ядро процессора. Каждая параллельно выполняемая ОЗ представлена процессом, в котором производится запуск программы оптимизации, посредством команды «start». ОП этой команды – разные для разных программ, запускаемых этой командой и представлены аргументами с описаниями входных и выходных объектов, с которыми работает запускаемая в ОЗ программа.

Таким образом, при реализации на многоядерной вычислительной системе общая схема маршрута выполнения параллельных вычислений при проведении оптимизации блоков сети сводится к заданию разбиения описания проекта по соответствующим параметрам, определяемыми используемой проектной операцией разбиения, формированию однотипных задач для фиксированного числа блоков сети и раздаче ОП с параметрами блоков, назначенных для каждой ОЗ. По завершении выполнения всех ОЗ проводится сбор данных и формирование массива блоков с результатами оптимизации для последующей обработки. В силу того, что выполнение ОЗ осуществляется в ядрах процессора без обменов информацией между ядрами, распараллеливание средствами OpenMP сводится к организации многозадачного параллелизма (*multitasking*), при котором кооперативный (*Non-preemptive*) планировщик ЦП управляет распределением ОЗ по ядрам процессора. При использовании такого планирования, как только задача получила назначение на ядро, оно не может быть отобрано, даже если короткие задачи вынуждены ждать завершения более длительных задач. ОЗ, распределенные по ядрам, будут выполняться до тех пор, пока не будут завершены. Затем планировщик проверяет состояние всех задач и назначает из пула ОЗ следующую задачу, находящуюся в состоянии готовности. Общая схема маршрута проведения параллельной оптимизации с элементами 2-Connect одноуровневой сети представлена на рисунке 1.

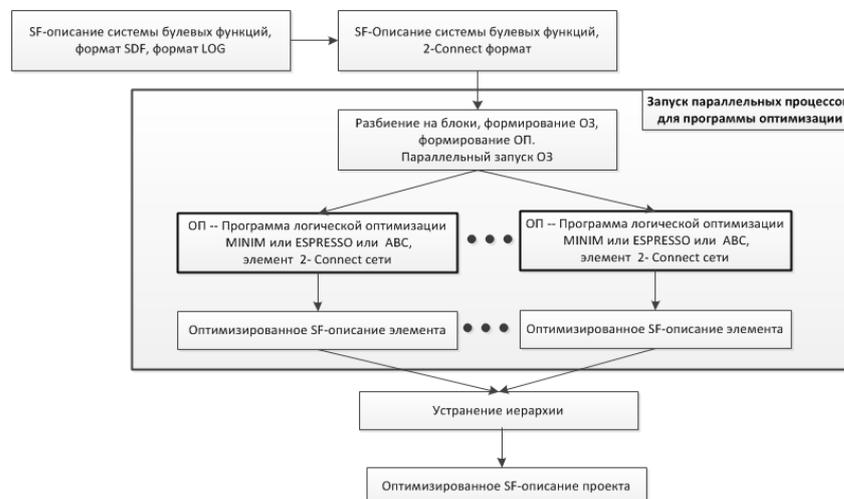


Рисунок 1. Общая схема параллельного выполнения оптимизации для элементов 2-Connect сети

III. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАПУСКА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОЦЕДУР

В качестве языка описания логических схем в FLC2 используется язык SF [7], который ориентирован на иерархическое описание логической схемы. Схема на языке SF определяется последовательностью функционально-структурных описаний подсхем (блоков), из которых она состоит. Форматные преобразования позволяют проводить преобразование многоуровневых представлений в матричную форму системы ДНФ (SDF-формат). Исходное описание должно быть представлено матричными формами системы булевых функций в виде ДНФ (SDF-формат). Далее проводится проектная операция по преобразованию системы ДНФ в двухуровневую сеть (2-Connect формат), если это возможно. Каждая ДНФ в 2-Connect описании зависит от ограниченного числа входных/выходных переменных, либо содержит ограниченное число элементарных конъюнкций [6]. На рисунке 2 в качестве примера отображена последовательность выбора в меню операции «Минимизации двухуровневой сети (ABC)», которая запускает параллельное выполнение минимизации программой ABC для 8-ми элементов 2-Connect сети.

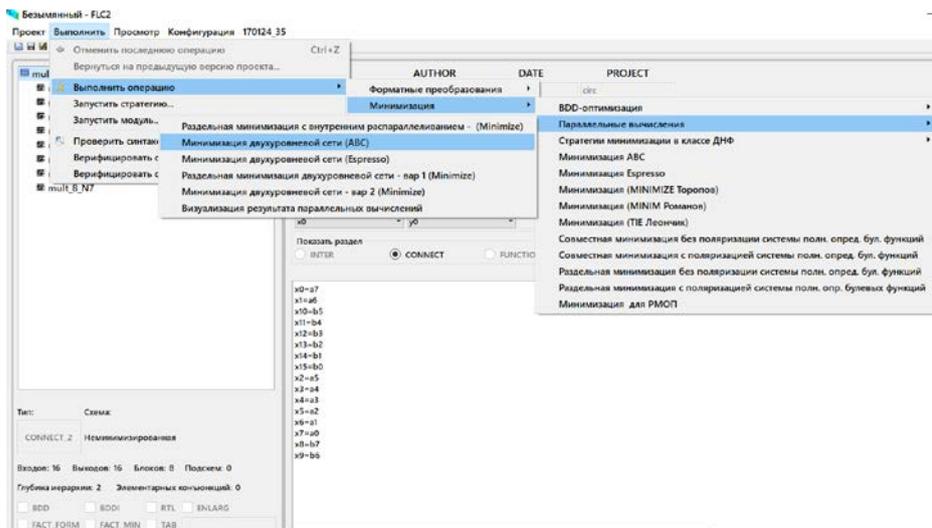


Рисунок 2. Общая схема параллельного выполнения оптимизации для элементов 2-Connect сети

IV. РАСШИРЕНИЕ ВНЕШНЕГО ИНТЕРФЕЙСА СИСТЕМЫ FLC-2

Внешний вид графического интерфейса системы FLC-2 [6], работа с проектными процедурами, организация иерархического меню не претерпел никаких изменений при работе с проектными операциями и представлениями данных. Добавлена панель в дереве меню, которая позволяет запускать пять операций выполнения параллельных вычислений с разными программами минимизации, для разных исходных описаний (SDF-формат и 2-Connect формат) и разных режимах проведения совместной и отдельной минимизации. Кроме того, в эту панель включена возможность визуализации результатов параллельных вычислений для текущего состояния проекта. На рисунке 3 представлена временная диаграмма распределения вычислений по ядрам процессора.

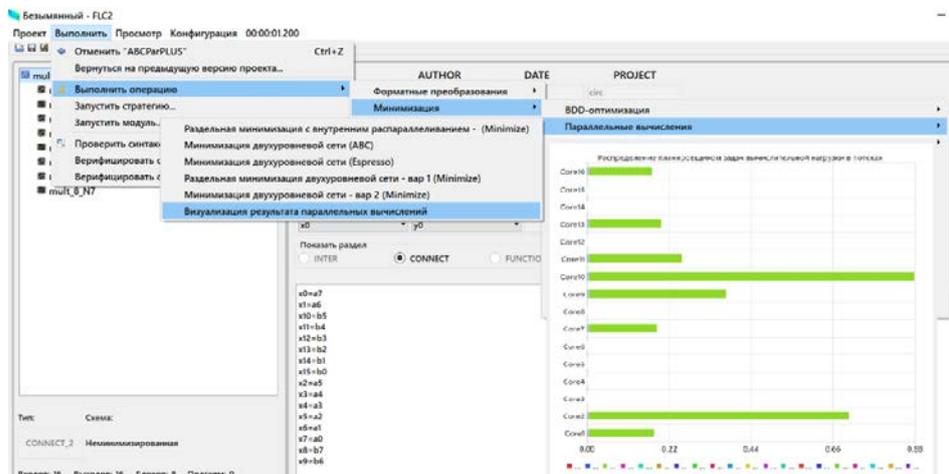


Рисунок 3. Визуализация распределения параллельных процессов по ядрам процессора

В состав проектных операций выполнения параллельных вычислений, представленных на последней панели иерархического меню (рисунок 2), включена программа, для которой исходное описание представлено матричными формами системы булевых функций в виде ДНФ (SDF-формат). В этой программе проведено распараллеливание алгоритма отдельной минимизации, поэтому результаты представлены оптимизированной системой булевых функций в формате SDF и временем выполнения этой параллельной программы. Визуализация для этой программы не проводится.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Функционал системы логической оптимизации функционально-структурных описаний дискретных устройств FLC-2, наличие проектных процедур для проведения разнообразных форматных преобразований с описаниями объектов проектирования позволил реализовать достаточно простой подход к интеграции параллельных вычислений в систему FLC-2 для выполнения логической оптимизации. Критерием эффективности такого подхода является существенное сокращение общего времени решения задачи оптимизации для объектов проектирования большой размерности [5].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бибило, П.Н. Система логической оптимизации функционально-структурных описаний цифровых устройств на основе продукционно-фреймовой модели представления знаний /П. Н. Бибило, В. И. Романов // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем - (МЭС-2020) : IX Юбилейная Всероссийская научно-техническая конференция : Сборник трудов ; под общей ред. А. Л. Стемпковского. – Москва : ИППМ РАН, 2021 Москва : ИППМ РАН, 2020.-С. 9–16.
- [2] J. Ciesko, S. Mateo, X. Teruel, X. Martorell, E. Ayguadé, J. Labarta, A. Duran, B. R. de Supinski, S. Olivier, K. Li, and A. E. Eichenberger, Towards Task-Parallel Reductions in OpenMP. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 189–201.
- [3] Логинова, И.П. Использование технологий параллельных вычислений для систем с общей памятью на примере задачи минимизации булевых функций / И.П. Логинова // Информационные технологии в промышленности, логистике и социальной сфере (ITI*2019) : тезисы докладов X Международной научно-технической конференции (23 – 24 мая 2019 года, Минск). – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2019. – С. 130 – 133.
- [4] Бибило, П. Н. Экспериментальное сравнение эффективности программ минимизации систем булевых функций в классе дизъюнктивных нормальных форм / П. Н. Бибило, И. П. Логинова // Информатика. – 2022. – Т. 19, № 2.– С. 26-55.
- [5] Логинова, И.П. Анализ быстродействия при реализации параллельных вычислений для решения задач оптимизации в системе логического проектирования / И. П. Логинова // IX Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics» (BIG DATA 2023): Сборник научных статей в 2 ч. Ч. 1, (Республика Беларусь, Минск, 17-18 мая 2023 г.). – Минск: БГУИР, 2023. – С. 365–378.
- [6] Романов, В.И. Программная поддержка базы знаний в системе логического проектирования FLC 2/ В.И. Романов / Информационные технологии и системы 2019 (ИТС 2019) – Information Technologies and Systems 2018 (ITS 2018): материалы междунар. науч. конф. (Республика Беларусь, Минск, 30 октября 2019 года). – Минск: БГУИР, 2019. – С. 116-117.

DEVELOPMENT AND VISUAL ANALYSIS OF PARALLEL SOLUTIONS IN LOGIC OPTIIMIZATION SYSTEM OF FUNCTIONAL STRUCTURED DESCRIPTIONS FOR DIGITAL CIRCUITS

I.P. Loginova

United Institute of Informatics Problems of NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus, irilog@email.ru

Abstract: An approach to increasing the efficiency of solving optimization problems (reducing the complexity of calculations, reducing time costs) by organizing parallel calculations in a logical optimization system of structured functional descriptions for digital circuits FLC-2 is proposed. The possibilities for parallelization when executing various optimization programs are created by means of some design operations. The parallel solutions efficiency is assessed by reducing the execution time of design operations involving logical optimization programs.

Keywords: computer-aided design, parallel computing, the system of Boolean functions, OpenMP.