

КОНВЕРТАЦИЯ ДАННЫХ ТОПОЛОГИИ СБИС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

**В. В. Ганченко¹, А. А. Дудкин¹,
А. В. Инютин¹, В. Г. Шоломицкий²**

¹*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси*

²*УП «КБТЭМ-ОМО»*

Минск, Беларусь

E-mail: {ganchenko, avin}@lsi.bas-net.by, doudkin@newman.bas-net.by

Рассмотрены алгоритмы и программные средства параллельной реализации подготовки топологических данных из форматов САПР СБИС в формат установок автоматического контроля топологических структур на фотошаблонах производства УП «КБТЭМ-ОМО», который напрямую не поддерживается современными САПР. Особенностью таких данных является их большой объем данных и значительное время конвертации. Использование параллельным методов вычислений на базе ПЭВМ с многоядерным процессором и технологии OpenMP позволяет значительно ускорить время подготовки данных.

Ключевые слова: конвертация данных, параллельные вычисления, САПР, фотошаблон.

Введение

Информатизация и компьютеризация современного общества требуют непрерывной разработки и совершенствования микроэлектронной цифровой техники. При этом постоянно возрастает сложность аппаратных компонентов и топологий интегральных микросхем: количество топологических элементов может превышать сотни миллионов. Топология сверхбольших интегральных схем (СБИС) на выходе специализированных систем автоматизированного проектирования (САПР) не может напрямую быть передана на вход оборудования производства СБИС, так как генераторы изображений и установки автоматического контроля оригиналов топологии на фотошаблонах имеют собственное представление данных. Поэтому необходимо провести их подготовку, т. е. проверку корректности и преобразовании формата.

Конвертация данных между различными САПР широко применяется в практике, например для организации сквозного проектирования с использованием нескольких различных САПР или обмена данными между такими системами и внешними приложениями [1–7]. Зачастую при этом применяются механизмы ускорения обработки или обмена между различными подсистемами [8]. Доступность многоядерных ПЭВМ на рынке делает выгодным использование параллельных методов обработки данных при конвертации, в том числе и для оборудования для производства СБИС. Таким образом, актуальной в практическом плане задачей является ускорение конвертации больших объемов данных.

Целью работы является разработка алгоритмов и программных средств подготовки топологических данных из распространенных форматов САПР в данные специализированного оборудования производства СБИС. Формат данных оборудования разработан для высокой производительности контрольных установок, но напрямую не поддерживается распространенными на сегодня САПР. При этом высокая производительность установок автоматического контроля топологических структур на фотошаблонах производства УП «КБТЭМ-ОМО» Государственного научно-произво-

дственного объединения точного машиностроения «Планар» является важным преимуществом на международном рынке оборудования производства СБИС. Разрабатываемое оборудование производства СБИС ориентировано на технологии производства 0,13 мкм и менее при сложности 10^8 – 10^9 топологических элементов. Но использование существующих программных средств для конвертации топологических данных может занимать больше времени, чем сама проверка. Так, например, контроль пластины размером 157×157 мм проводится за 20 минут, а конвертация данных для нее на ПЭВМ занимает больше 1 часа. Такое время конвертации неприемлемо и обуславливает актуальность предлагаемого программного комплекса.

Аналогами программных средств конвертации являются пакеты CATS фирмы Synopsys и L-EDIT фирмы Tanner EDA [9,10]. Данные пакеты позволяют преобразовывать комплекс проектных данных в машинные инструкции для электронно-лучевых и лазерных генераторов, используемых для создания изображений фотошаблонов и производства СБИС.

Например, ядро пакета CATS выполняет следующие функции:

- преобразование многоугольников из форматов разработки (CIF, DXF и GDS-II) в прямоугольники и трапеции файла генератора изображений или базы данных;
- преобразование прямоугольников и повернутых прямоугольников в формат данных оптического генератора;
- масштабирование или калибровочные операции над набором данных.

Пакет L-EDIT фирмы Tanner EDA представляет собой топологический редактор, предназначенный для синтеза топологии в автоматическом или интерактивном режимах, проверки правил проектирования, экстракции схемы проекта из топологии, сохранения топологии проекта в виде файлов стандартных форматов CIF, DXF, GDS - II.

Предлагаемые программные средства формируют файл выходного формата T29 (формат описания топологии фотошаблона установок автоматического контроля производства УП «КБТЭМ–ОМО» [11]) из файлов во входных форматах CIF, DXF Gerber и MEBES.

Задача решается в два этапа:

1) из файла либо файлов во входном формате формируются файлы в формате внутреннего представления данных. В этом формате описание топологии представляет набор контуров с неотрицательными значениями координат узлов. Все операции масштабирования, зеркального отображения, поворота изображения, аппроксимации и т. д., заданные во входном формате, должны быть выполнены.

2) из файлов в формате внутреннего представления данных формируются файлы промежуточного формата. Для этого контуры должны быть разбиты на примитивы. Примитив – это контур, у которого координаты узлов по оси X от минимальной до максимальной координаты сверху и снизу монотонно неубывающие. Кроме этого примитивы должны быть разрезаны по границам полос. Из файлов промежуточного формата формируется файл выходного формата T29.

Ускорения работы программного комплекса достигается организацией вычислений на базе многоядерного процессора и использовании технологии OpenMP (Open Multi-Processing) [12–15].

Параллельная реализация преобразования топологических данных

При работе с данными в формате MEBES, CIF, DXF и Gerber процесс преобразования можно представить в виде трех логически и функционально разделенных блоков, каждый из которых может выполняться параллельно с другими: чтение исходного контура; преобразование данных об объекте топологии; сохранение полученного описания объекта топологии и в файл формата внутреннего представления.

Для обеспечения требуемого порядка контуров при параллельной работе модуля преобразования формата предлагается использовать структуру данных «очередь» для передачи данных между этапами преобразования, а работа параллельного алгоритма преобразования контуров может быть представлена в виде схемы, приведенной на рисунке.

Работа по такой схеме требует выполнения некоторых условий:

- требуется обеспечение синхронизации доступа к очередям;
- введение дополнительных флагов, сигнализирующих о состоянии других потоков обработки (например, поток преобразования должен быть оповещен о том, что все исходные данные вычитаны, и цикл преобразования может быть завершен после опустошения очереди исходных контуров).

Для увеличения скорости работы полной процедуры конвертации топологических данных из формата внутреннего представления в формат установок автоматического контроля T29 реализовано одновременное вычисление нескольких потоков. В качестве основы для параллельных вычислений была выбрана спецификация OpenMP [12, 13]. Такой выбор обусловлен структурой исходных программных модулей, используемой аппаратной платформой (персональный компьютер с многоядерным процессором и большим объемом оперативной памяти).

Особенности реализации программной системы:

- использование большого количества глобальных переменных;
- использование среды разработки Borland C++ Builder 5, компилятор которой не поддерживает спецификацию OpenMP.

Для возможности распараллеливание вычислений с использованием технологии OpenMP вводится дополнительный уровень, который инкапсулирует вычисления в отдельной динамически загружаемой библиотеке. При этом исходная библиотека LSeparPolPr.dll применяется лишь для осуществления взаимодействия с исполняемым модулем Convert.exe.

В новой схеме интерфейсный модуль LSeparPolPr.dll решает следующие задачи:

- инициализация переменных;
- подготовка данных к выполнению конвертации;
- запуск вычислений;
- загрузка модуля параллельного разбиения контуров на примитивы и функции `run_all()` из данной динамически загружаемой библиотеки;
- выполняет постобработку (закрытие файловых дескрипторов, очистка памяти).

Библиотека ParLSeparPolPr.dll предназначена только для выполнения вычислений. Код новых и модифицированных функций реализован на языке программирования C++ в среде разработки Microsoft Visual Studio 2008.

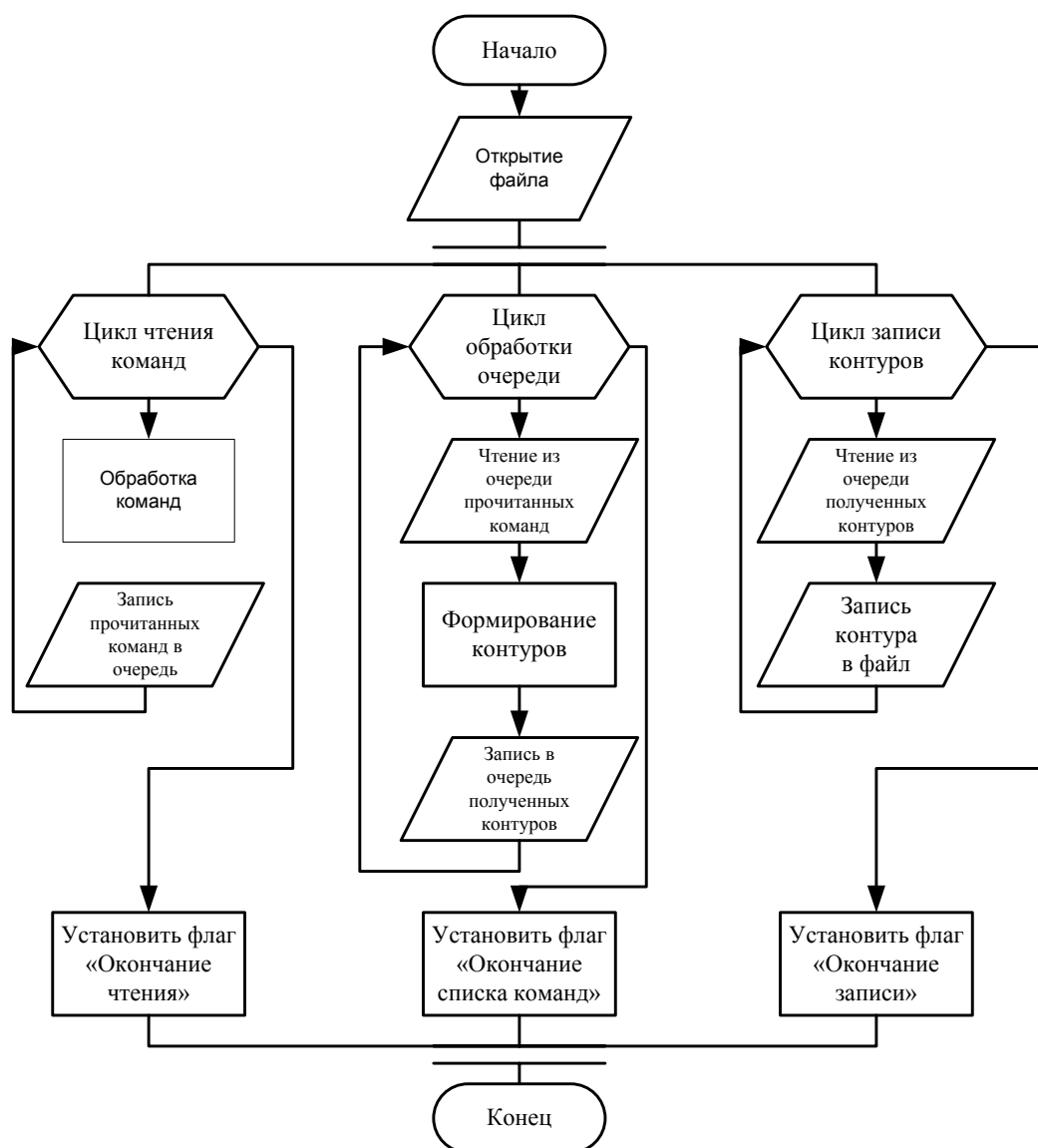


Схема параллельного алгоритма преобразования файла в формате CAD во внутреннее представление

Тестирование программных средств конвертации топологических данных

Для оценки сокращения временных затрат проведено тестирование, в котором засекалось время конвертации для исходной версии модуля преобразования, новой версии модуля (использующей стандарт OpenMP) с одним задействованным вычислительным потоком и новой версии модуля с тремя задействованными вычислительными потоками. Тестирование осуществлялось на предоставленных УП «КБТЭМ-ОМО» файлах топологии E5189ARR5.00 и файл пакетной обработки em5189test5090.jb (формат MEBES, размером 47 МБ: файл), BMT-1.cif размером 16,2 МБ, Test1.dxf размером 8 МБ, ipc441_1.gbr, ipc441_2.gbr размер 1 Мб. Время засекалось для 10 запусков последовательной и параллельной версий.

Результаты замеров временных затрат на преобразование из формата MEBES, CIF, DXF и Gerber в формат внутреннего представления приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение времени работы различных реализаций конвертации данных

Формат	Время конвертации для модуля с реализацией:		
	Последовательная	OpenMP и один поток	OpenMP и три потока
MEBES	1,517	1,593	1,304
Gerber	0,621	0,709	0,452
CIF	0,703	0,812	0,687
DXF	0,95	1,03	0,77

Из результатов тестирования можно заметить, что при использовании параллельной версией модуля только одного ядра и вычислительного потока время конвертации возрастает, что связано с затратами на распараллеливание, но при использовании трех потоков на трех ядрах время преобразования сокращается. Относительно невысокие результаты ускорения вычислений связаны с тем, что основными затратами при работе данного модуля (как последовательной, так и параллельной версий) являются затраты на чтение и запись данных на файловую систему.

Тестирование программных средств конвертации в формат T29 осуществлялось на файлах топологических данных во внутреннем формате, полученных преобразованием файла 112_01.gds. Исходный GDS файл содержит 903 контура, которые во внутреннем формате представляют собой 2030 примитивов.

В табл. 2 приведены средние значения времени работы конвертера на ПЭВМ с 4-ядерным процессором.

Таблица 2

Результаты времени работы конвертера

Количество вычислительных потоков	Время работы, с
1	1,544
2	0,889
3	0,686
4	0,561

Из табл. 2 видно, что для 4-ядерной ПЭВМ выгодно использование нескольких вычислительных потоков.

Заключение

В данной работе предложен алгоритм и программные средства параллельной реализации преобразования топологических данных в форматах MEBES, CIF, DXF и Gerber во внутреннее представление и далее в формат установок автоматического контроля T29. Программные средства разработаны на базе технологии OpenMP для работы на ПЭВМ с 4х-ядерным процессором. Показано, что использование параллельных вычислений ускоряет процесс конвертации.

Библиографические ссылки

1. Wang W., Hu Zh., Liu Ch. Research on model data exchange method between different structure CAD systems // Proc. of International Conference on Multimedia Technology (ICMT), Hangzhou, China, 26–28 July 2011. P. 3626–3629.

2. Standardized data exchange of CAD models with design intent / J. Kim [et al.] // Computer-Aided Design. 2008. V. 7(40). P. 760–777.
3. Using Procedure Recovery Approach to Exchange Feature-based Data among Heterogeneous CAD Systems / X. Li [et al.] // Proceedings of the 2009 13th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD 2009) April 22–24, 2009, Santiago, Chile. P. 716–721.
4. Qi Z., Schafer C., Klemm P. Interdisciplinary Data Exchange in the Development of Assembly Systems // Proc. of the 4th IEEE International Conference on Industrial Informatics INDIN06, Singapore, 2006, 16–18 Aug. P. 542–547.
5. Li A., Shen X. An data exchange methodology of CAD and virtual assembly system // Proc. of the IEEE 17Th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM), 29–31 Oct. 2010, Xiamen, China. P. 307–310.
6. Pajarre E., Ritoniemi T., Tenhunen H. G2L: system for converting low-level geometrical designs to a higher level representation // Proc. of the Euro ASIC '91, 27–31 May 1991, Paris, France. P. 366–371.
7. Research on CAD Data Format Conversion for Transport Infrastructure Information / H. Wang [et al.] // Advanced Materials Research. 2011. V. 305. P. 239–242.
8. An improved data communication mechanism for a SOC hardware/software co-emulation environment / A.W. Ruan [et al.] // Proc. of International Conference on Communications, Circuits and Systems ICC-CAS 2009, Milpitas, California, USA, 23–25 July 2009. P. 1029–1032.
9. CATS Synopsys [Электронный ресурс] 2012. Режим доступа: <http://www.synopsys.com/tools/manufacturing/masksynthesis/cats/pages/default.aspx>.
10. Tanner EDA Software Tools - L-Edit Layout for Analog IC & Mixed Signal Design [Электронный ресурс]. 2012. Режим доступа: <http://tannereda.com/l-edit-pro>.
11. Комплексы оптико-механического оборудования для бездефектного изготовления фотошаблонов уровня 0,35 мкм и 90 нм / С. М. Аваков [и др.] // Фотоника. 2007. № 6. С. 35–39.
12. The OpenMP® API specification for parallel programming [Электронный ресурс]. 2011. Режим доступа: <http://openmp.org/wp/>. Дата доступа: 19.09.2011.
13. Антонов А. С. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 2009.
14. Боресков А. В., Харламов А. А. Основы работы с технологией CUDA. М. : ДМК-Пресс, 2010.
15. OpenCL Programming Guide / A. Munshi [et al]. Addison-Wesley Professional, 2011.