

# Возможности распределенной подсистемы топологического проектирования, построенной на основе клиент-серверных технологий

В.М. Глушань<sup>1</sup>, П.В. Лаврик<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Инженерно-технологическая академия ЮФУ, gluval07@mail.ru

<sup>2</sup>ООО CBOSS Development Юг

**Аннотация** — Представлены результаты количественной оценки производительности распределенной подсистемы топологического проектирования электронных схем, подтвержденные экспериментальными исследованиями.

**Ключевые слова** — распределенные САПР, модели схем, клиент-серверные технологии, временная сложность процесса проектирования.

## I. ВВЕДЕНИЕ

В начале 90-х годов прошлого века Интернет объединил большинство существовавших тогда сетей, и это событие не осталось без внимания исследователей и специалистов, занимавшихся поисками путей повышения производительности САПР. Одной из первых работ, посвященной данному направлению, является статья [1]. Идеи этой работы получили свое дальнейшее развитие в статьях [2–4]. Близкие идеи построения распределенных САПР, но в области машиностроения, изложены в [5]. В данной статье приводятся результаты достаточно продолжительных исследований использования клиент-серверных технологий для повышения производительности САПР. В отличие от работ других авторов, в которых рассматриваются, как правило, вопросы построения распределенных САПР на качественном уровне, в рассматриваемой работе приведены результаты количественной оценки производительности распределенной подсистемы топологического проектирования, подтвержденные экспериментальными исследованиями реально разработанной подсистемы проектирования электронных схем.

## II. МОДЕЛЬ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИ СХЕМ

Анализ процессов конструкторского проектирования привел к выбору модели, описанной в [6]. Согласно этой модели, процесс проектирования распадается на пять этапов. На первом этапе общая задача подвергается декомпозиции и решается сервером сети. На втором этапе сервер рассылает компьютерам-клиентам сформированные в результате декомпозиции задания для решения задач размещения и трассировки. Третий этап состоит в решении каждым компьютером-

клиентом своих задач размещения и трассировки. На четвертом этапе выполняется обратная передача результата работы с каждого компьютера-клиента на сервер. И, наконец, на пятом этапе выполняется объединение сервером всех частей схемы и дотрассировка «разрывных» трасс. В соответствии с принятой моделью оценку  $O_n(f(N, n))$  временной сложности процесса проектирования (ВСПП) с помощью распределенной подсистемы можно представить выражением

$$O_n(f(N, n)) = O_{дек}(f(N, n)) + O_{n.n}(f(N, n)) + \sum_{i \in I} O_i(f(N, n)) + O_{об.n}(f(N, n)) + O_{сер}(f(N, n)), \quad (1)$$

где:

$N$  – количество элементов, например микросхем, в исходной схеме,  $n$  – количество компьютеров в сети,  $I$  – количество алгоритмов, используемых в проектировании;

$O_{дек}(f(N, n))$  – временная сложность декомпозиции задачи проектирования, т.е. распределения задания по компьютерам сети;

$O_{n.n}(f(N, n))$  – временная сложность прямой пересылки информации после декомпозиции задачи с сервера на все компьютеры сети;

$\sum_{i \in I} O_i(f(N, n))$  – временная сложность всех  $I$  алгоритмов, используемых каждым компьютером сети при решении задачи проектирования (например, алгоритмы размещения и трассировки);

$O_{об.n}(f(N, n))$  – временная сложность обратной передачи информации со всех компьютеров на сервер;

$O_{сер}(f(N, n))$  – временная сложность объединения сервером всех решений с каждого компьютера в единое целое.

Очевидно, что в оценке ВСПП сосредоточенной (однокомпьютерной) подсистемы однозначно должна присутствовать третья составляющая из выражения (1) и отсутствовать вторая и четвертая. Делать однозначно какие-либо утверждения о первой и пятой составляю-

ших нельзя, поскольку в одних случаях они могут присутствовать, а в других – нет. Это определяется как конструктивными особенностями разрабатываемой схемы, так и числом  $N$  ее элементов.

Так, например, существуют конструкции больших интегральных схем (БИС) так называемой линейчатой структуры. Каждая линейка полупроводникового кристалла такой БИС представляет собой часть схемы, которая наполняется схемными элементами точно так же, как это делается при распределении (декомпозиции) между компьютерами сети.

Аналогичным образом схема разбивается на части (говорят, что решается задача компоновки схемы), когда число элементов  $N$  достаточно велико – сотни тысяч и больше.

Во всех этих случаях в выражении для оценки ВСПП будут присутствовать члены  $O_{дек}(f(N,n))$ , а, следовательно, должна присутствовать и составляющая, с помощью которой будет оцениваться временная сложность процесса объединения всех частей схемы в единое целое. Очевидно, что эта составляющая будет иметь тот же смысл, что и пятая составляющая в выражении (1), только обозначим мы ее теперь как  $O_{об}f(N,n)$  – оценка объединения.

Исходя из приведенных соображений, оценку ВСПП, выражаемую в шагах, для сосредоточенной подсистемы можно представить в структурном виде

$$O_1(f(N,n)) = O_{дек}(f(N,n)) + O_{об}(f(N,n)) + O_{ос}(f(N,n)). \quad (2)$$

Детальный анализ структурной формулы (1) позволяет представить её в расчетно-параметрическом виде

$$O_n(f(N,n)) = N(N+1) + \frac{N^2}{n} + \left(\frac{N}{n}\right)^k + n^k. \quad (3)$$

Здесь  $k$  – это показатель сложности алгоритмов размещения и трассировки, и принимающий значения  $1 \leq k \leq 6$ . По выражению (3) с использованием среды Math Lab были построены семейства графиков при различных значениях параметров  $N$ ,  $n$ , и  $k = \{2, 3, 4\}$ . На рис. 1 приведено семейство кривых зависимости ВСПП при различных значениях числа элементов  $N$  и  $k$ .

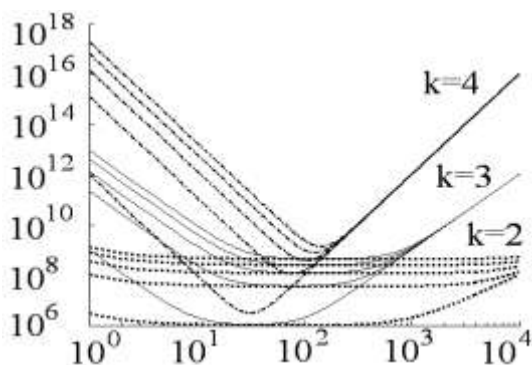


Рис. 1. Семейство кривых зависимости ВСПП

Анализ приведенных графиков позволяет сделать вывод о том, что существует оптимальное соотношение между сложностью схемы (числом элементов  $N$ ) и числом компьютеров сети  $n$ . Но не менее важным представляется величина абсолютного выигрыша производительности (выраженного в разгах) распределенной подсистемы по сравнению с сосредоточенной. С этой целью формула (2) также, как и формула (1), была представлена в расчетно-параметрическом виде

$$O_1(f(N,n)) = N + \frac{N^k}{n^{k-1}} + n^k. \quad (4)$$

Для абсолютной оценки выигрыша производительности исследовалось отношение правых частей формул (4) к (3)

$$\gamma(N,n) = \frac{O_1(f(N,n))}{O_n(f(N,n))} = \frac{N + N^k / n^{k-1} + n^k}{N(N+1) + N^2 / n + (N/n)^k + n^k}. \quad (5)$$

Используя соотношение (5) были построены зависимости  $\gamma(N,n)$  при разных значениях параметров  $N$ ,  $n$  и  $k$  (рис. 2). Приведенные зависимости дают четкое представление об абсолютной величине выигрыша, о том, что он растет с увеличением  $k$  и  $N$  и смещается в сторону увеличения  $n$  при увеличении  $N$ .

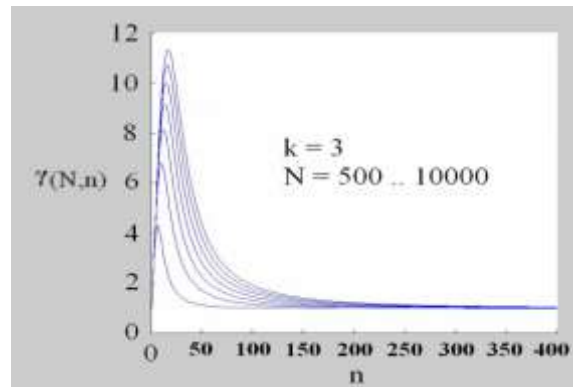


Рис. 2. Выигрыш в производительности

При построении теоретической зависимости времени проектирования от числа задействованных компьютеров-клиентов локальной сети сложность схемы для всех топологических задач (компоновка, размещение, трассировка) задавалась числом элементов схемы. Это позволило записать достаточно простые аналитические выражения для временной сложности процесса проектирования. Выигрыш производительности при такой инвариантности к решаемой задаче модели схемы в зависимости от ее сложности достигал нескольких десятков. В то же время экспериментальные исследования при решении задачи трассировки на сервере проводились с использованием модели схемы, в которой сложность схемы задавалась более адекватно с помощью количества цепей и их разветвленности (числом инцидентных каждой цепи контактов). Это привело к тому, что общая тенденция наличия оптимального числа компьютеров-клиентов сохранилась, но выигрыш производительности уменьшился и сместился в сторону меньшего числа компьютеров-

клиентов. Приведенные обстоятельства заставили искать причину такого расхождения результатов.

Наиболее вероятной причиной могло быть то, что в формальной записи аналитических выражений использовалась инвариантная модель схемы (как для задачи компоновки и размещения, так и трассировки). Поэтому встал вопрос о том, как в формальную запись ВСПП ввести априорно зависимость числа внешних цепей (это те цепи, которые должны трассироваться сервером) от числа компьютеров-клиентов.

В [7] описаны возможные подходы, которые могут быть использованы для данной цели. Авторы цитируемой работы считают наиболее обоснованным статистический подход. После проведения серии статистических экспериментов было установлено, что зависимость числа внешних цепей от числа компьютеров-клиентов с достаточной для практики точностью можно описывать логарифмической зависимостью. Пример одного из множества статистических экспериментов, на основании которых был сделан приведенный вывод, представлен на рис. 3

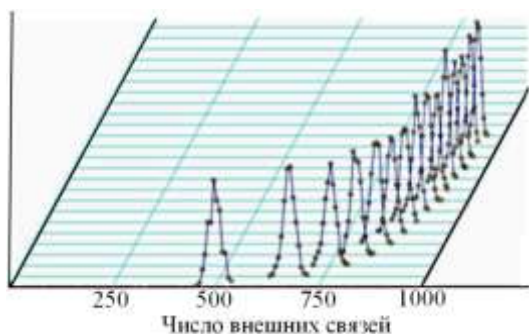


Рис. 3. Статистика законов распределения числа внешних связей (500 вершин, локальная степень – 4)

Подстановка этой зависимости в выражение для ВСПП приводит к следующей формуле

$$O(f(N, n)) = N + \left(\frac{N}{n}\right) + \left(\frac{NL}{2} - y(n)\right)^k + y^k(n). \quad (6)$$

Здесь  $y(n) = 35631 \lg n + 1930$ , а показатель степени  $k$  определяет временную сложность алгоритма трассировки. Используя зависимость (6) для схемы, состоящей из 1000 элементов и разветвленностью цепей, равной 12, при линейной сложности алгоритма компоновки и квадратичной сложности алгоритма размещения построены решетчатые функции ВСПП и абсолютного выигрыша производительности для  $k = 2$  и 3.

Эти зависимости для  $k = 2$  приведены на рис. 4 и 5, соответственно. ВСПП для сосредоточенной подсистемы для данной схемы в этом случае является константой, равной  $3,7 \times 10^7$  шагов.

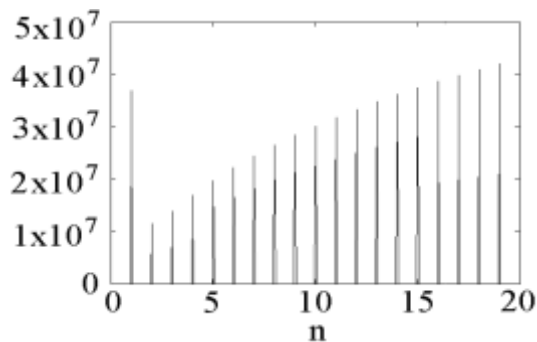


Рис. 4. ВСПП в зависимости от числа компьютеров-клиентов при  $k = 2$

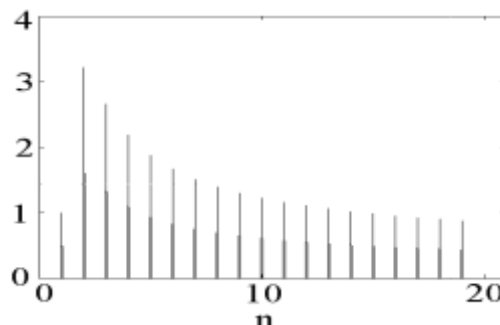


Рис. 5. Абсолютный выигрыш производительности при  $k = 2$

Эти же зависимости, но для  $k = 3$  приведены на рис. 6 и 7, соответственно. ВСПП для сосредоточенной подсистемы для данной схемы в этом случае является константой, равной  $2,16 \times 10^{11}$  шагов.

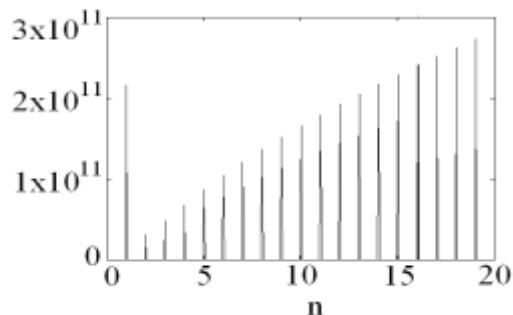


Рис. 6. ВСПП в зависимости от числа компьютеров-клиентов при  $k = 3$

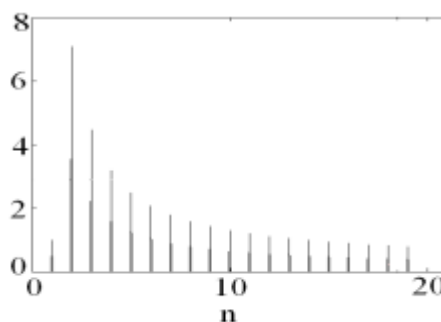


Рис. 7. Абсолютный выигрыш производительности при  $k = 3$

Анализируя приведенные решетчатые функции трудно видеть, что для рассматриваемой схемы при  $k = 2$  минимальная ВСПП и, соответственно, максимальный выигрыш, равный примерно 3,3 раза, достигаются при двух компьютерах-клиентах. При увеличении  $k$  до 3, как и следовало ожидать, ВСПП для сосредоточенной подсистемы увеличивается, но увеличивается при этом и абсолютный выигрыш примерно до 6,5 раз при проектировании данной схемы на распределенной подсистеме. Причем он достигается при тех же двух компьютерах-клиентах.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Опираясь на теоретические и экспериментальные исследования была разработана реально работающая распределенная подсистема конструкторского этапа проектирования электронных схем. На рис. 8 и 9 приведены результаты реально работающей распределенной подсистемы. На рис. 8 приведена кривая ВСПП, выраженная в процентах относительно сосредоточенной подсистемы, полученная при проектировании схемы, содержащей 400 элементов, 80 цепей с разветвленностью, равной 10, и ее дисперсией, равной 1.

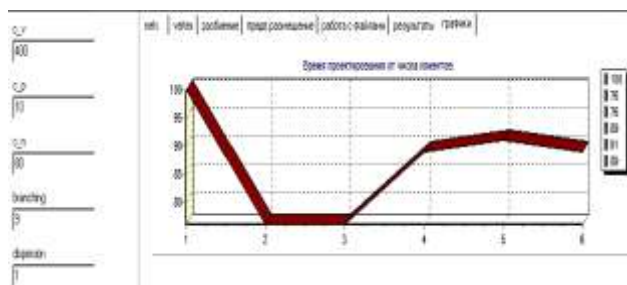


Рис. 8. ВСПП реально работающей подсистемы

Анализ рис. 8 показывает, что минимальная сложность ВСПП реально работающей подсистемы для данной сложности схемы обеспечивается при 2 – 3 компьютерах-клиентах, что в полной мере согласуется с теоретическими результатами. Однако следует при этом отметить, что выигрыш в разгах получается менее внушительным, чем это следует из теоретических результатов. Это свидетельствует о том, что предстоит еще провести более тщательные и многочисленные экспериментальные исследования для формулировки окончательных и достоверных выводов относительно возможностей распределенной подсистемы топологического проектирования.

На рис. 9 приведена топология схемы, спроектированной распределенной подсистемой, в работе которой были задействованы четыре компьютера-клиента. Для наглядности на приведенной топологии схемы по ее центру проведены вертикальная и горизонтальная линии, которые отделяют четыре части схемы, каждая из которых проектировалась независимым отдельным компьютером-клиентом.

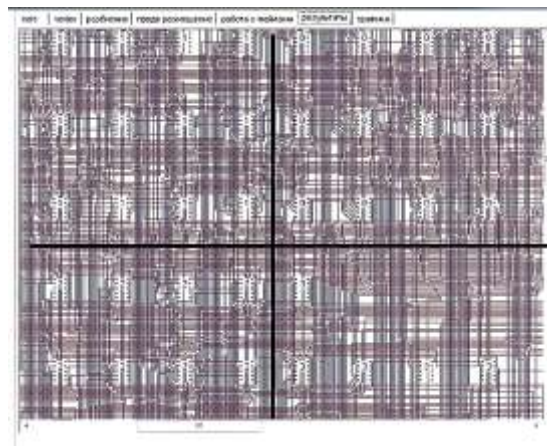


Рис. 9. Топология схемы – результат работы распределенной подсистемы

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первые результаты, полученные с помощью реально работающей подсистемы, внушают уверенность в том, что избранный подход к построению распределенной подсистемы топологического проектирования был верным. Для построения практических систем надо теперь сосредоточить усилия на конкретных современных технологиях изготовления электронных схем, в первую очередь БИС и СБИС, на выборе соответствующих типов алгоритмов.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Глушань В.М., Будников Е.В. Распределенная сетевая обработка при решении задач конструкторского проектирования ЭВА // Известия ТРТУ. Тематический вып. «Интеллектуальные САПР». Таганрог, 1997. № 3. С. 42-47.
- [2] Глушань В.М., Лаврик П.В. Концептуальный анализ и построение распределенной подсистемы автоматизированного проектирования электронных схем. Интеллектуальные системы. Коллективная монография / под ред. В.М. Курейчика. М.: Физматлит, 2011. Вып. 5. 262 с.
- [3] Глушань В.М., Лаврик П.В. Исследование клиент-серверной модели распределенной САПР электронных схем // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР». Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. № 4. С. 77-80.
- [4] Глушань В.М., Лаврик П.В. Распределенная подсистема конструкторского проектирования электронных схем // Программные продукты и системы. Научно-практическое издание. 2013. № 3 (103). С. 263-272.
- [5] Бершадский А.М., Курилов Л.С., Селиверстов М.Н. Применение кластерных технологий в САПР // Информационные технологии. 2001. № 9. С. 2-7.
- [6] Глушань В.М., Иванько Р.В. Анализ эффективности распределенных САПР // Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР». Таганрог: ТРТУ, 2006. № 8. С. 115-120.
- [7] Глушань В.М., Лаврик П.В. К вопросу прогнозирования времени трассировки коммутационных схем ЭВА средствами распределенной САПР // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'11». Научное издание в 4-х томах. М.: Физматлит, 2011. Т. 3. С. 205-211.