

УДК 004.023

Мелик-Адамян А.Ф., Кондратьева А.В., Халимов А.К. ¹

¹ Институт точной механики и вычислительной техники

Оптимизация стандартных ячеек LPT последовательностями

Одним из наиболее широко используемых методов построения современных интегральных схем (ИС) является сборка на основе стандартных ячеек – функциональных кирпичиков (типичные функции: логические «и», «или», «и-не», умножители 2х и др.). В этом случае характеристики ИС вычисляются на основе оных стандартных ячеек и, следовательно, оптимизация ячеек сильно влияет на характеристики всей ИС.

Оптимизацию ячеек можно проводить по одному или нескольким критериям с/без ограничений (утечка, задержка, площадь, технологический выход). Значения критериев обычно зависят от длин каналов транзисторов и их геометрического расположения. Критерии противоречивы: например, уменьшение длины канала транзистора уменьшает задержку, но увеличивает утечку. Исходная задача описывается следующим образом (варьируя длины транзисторов (t_1, \dots, t_N) минимизировать утечку (Lkg) при заданных ограничениях на задержку (D), площадь (A), технологический выход (Y):

$$\begin{cases} \min_{t_1, t_2, \dots, t_N} Lkg \\ D < D_0 \\ A < A_0 \\ Y > Y_0 \end{cases}$$

При решении данной задачи возникает проблема представления критериев как функций от входных параметров. Авторы не нашли в литературе достаточно точное решение данной проблемы – для вычисления критериев ячейка обычно симулируется “spice” подобными алгоритмами. Данная операция является вычислительно сложной, количество входных параметров обычно не меньше 20, при этом каждый параметр имеет около 5 возможных значений (обычно длина канала транзистора варьируется в 10% пределах) – следовательно, невозможно провести полный перебор. Также сложно выделить наиболее важные транзисторы. С другой стороны, логично предполагать, что такие транзисторы существуют (например, для случая задержки – это транзисторы, входящие в критический путь; для случая утечки – транзисторы не в стеках).

В данной работе предлагается решение, основанное на применении равномерно распределенных в пространстве случайных точек. Оптимизация состоит из 2ух шагов:

псевдослучайный поиск хороших решений, локальная оптимизация найденных решений. На первом шаге используется перебор LPt распределенных в пространстве параметров точек (каждая точка представляет некоторую конфигурацию ячейки – набор длин транзисторов). Основное свойство LPt последовательностей [1] состоит в их хорошем покрытии маломерных проекций многомерного куба. Например, проекции на все трёхмерные грани стомерного куба первых 128 членов LPt-последовательности хорошо покрывают каждую трёхмерную грань, хотя плохо покрывают сам куб (в силу его большой размерности). С практической точки зрения, это означает, что LPt последовательности подходят для отыскания экстремумов функций, существенно зависящих от небольшого числа своих аргументов. Благодаря этому можно найти конфигурации ячейки, которые скрываются при использовании сеточного распределения точек (рис. 1: 4 проекционных точки для сеточного распределения и 16 для LPt). Это означает, что несущественные транзисторы не влияют на количество информативных точек.

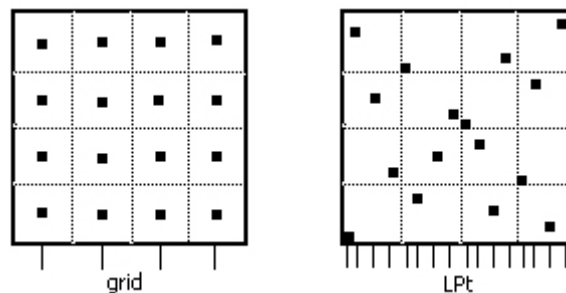


Рис. 1

После того, как псевдослучайным поиском найдены оптимальные решения, для каждого из них проводится локальная оптимизация. Рассматривается следующее множество вариаций точки (длина транзистора варьируется с заданным шагом):

- увеличение длины одного транзистора на величину шага: $(t1+шаг, 0, \dots, 0)$, $(0, t2+шаг, \dots, 0)$, \dots , $(0, \dots, 0, tN+шаг)$
- уменьшение длины одного транзистора на величину шага: $(t1-шаг, 0, \dots, 0)$, $(0, t2-шаг, \dots, 0)$, \dots , $(0, \dots, 0, tN-шаг)$
- уменьшение длины одного транзистора и увеличение длины другого для всех возможных пар: $(0, \dots, ti+шаг, \dots, tj-шаг, 0)$

На данный момент авторами реализована оптимизация по двум противоречивым критериям: площадь ячейки и утечка. Эксперименты показали, что можно получить 20% уменьшение утечки с сохранением площади ячейки (по сравнению с неоптимизированной ячейкой). Для оценки значений утечки использовался алгоритм,

совмещающий моделирование и аналитический расчет (о нем рассказано в тезисе “Быстрый и точный метод вычисления утечек стандартных ячеек”). Под площадью понимается сумма длин всех транзисторов.

В ходе экспериментов выявились следующие подзадачи:

- критерий окончания работы псевдослучайного поиска: перебрать всё пространство решений невозможно и также невозможно создать абсолютно надёжный критерий того, что искомая оптимизация найдена
- попадание в область, удовлетворяющую ограничениям: если вероятность того, что при переборе точка попадает в удовлетворяющую ограничениям область мала, то издержки, связанные с обчётом ограничений на неподходящих точках будет уходить почти всё время работы алгоритма
- потеря очевидных решений: задача может иметь очевидное решение, состоящее, например, в 5% уменьшении длин всех транзисторов, кроме некоторых критических, а для критических увеличить их длины на 20%. Тем не менее, вероятность поймать такое решение через LPt -последовательность крайне мала, потому что оно далеко от решений, получающихся его проекцией на маломерные грани

Будущая работа над данным методом может быть связана с решением перечисленных выше задач. Также обещающим является применение генетических алгоритмов с использованием в качестве первого поколения решений найденных на этапе псевдослучайного поиска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соболь И.М., Статников Р.Б.* Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. — М.: Наука, 1981.