

О. Б. ПОЛУБАСОВ, С. В. ЗУДИН

Россия, С.-Петербургский гос. ун-т телекоммуникаций
им. М. А. Бонч-Бруевича

Дата поступления в редакцию
09.02 1999 г.

Оппонент к. т. н. В. В. СИБИРЯКОВ

К ВОПРОСУ О КВАДРАТИЧНОМ РАЗМЕЩЕНИИ ЯЧЕЕК НА БИС

Обсуждаются особенности программной реализации одного подхода к размещению ячеек на БИС.

The program implementation peculiari ties of one approach of layout of cells on LSIC are discussed.

РОССИЙСКИЕ ПУБЛИКАЦИИ ДВАДЦАТИЛЕТНЕЙ ДАВНОСТИ МАЛОИЗВЕСТНЫ В АМЕРИКЕ

Методы размещения ячеек на БИС условно можно разделить на две группы: создающие начальное размещение и улучшающие уже существующее.

Из методов начального размещения наиболее распространены методы последовательной установки элементов на основе связности, методы, основанные на разбиении (чаще всего дихотомическом), методы, основанные на группировании, и методы силового размещения.

Квадратичное размещение, в России называемое силовым размещением, известно уже не менее 30 лет и давно входит в список классических методов САПР [1–3]. Математическая модель — квадратичный функционал и минимизирующая его система линейных уравнений — была заимствована из ранее развитой теории электрических цепей, так что аппарат исследован всесторонне. Но, оказывается, еще не все знают, что существуют быстрые итерационные способы решения этой системы уравнений, которые не требуют обращения никаких матриц [4]. В частности, этого, видимо, не знают авторы статьи [5], коль скоро они *использовали числовые подпрограммы для действий с разреженной матрицей* [6] из библиотеки *Meshach* [7] и сокрушенно констатируют: «экспериментальные наблюдения показывают, что вычисление внутренних и внешних трасс занимает гораздо меньше времени, чем единственная минимизация функционала».

Силовое размещение дает приемлемое решение только для весьма специфических сетей, в реальных же случаях элементы имеют тенденцию скучиваться, перекрываться, поэтому полученное силовым методом решение всегда нуждается в коррекции. Для этого используются методы дискретизации координат элементов, например, метод приведения по квадратам [8]. (Кстати, американские ученые почему-то считают, что «квадрирующие системы впервые представлены в [9]».)

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При решении задачи квадратичного размещения используется целевая функция, представляющая сумму квадратов длин проводников. Однако, как показано в [10], такой подход не избавляет от сложностей трассировки соединений в перегруженных областях.

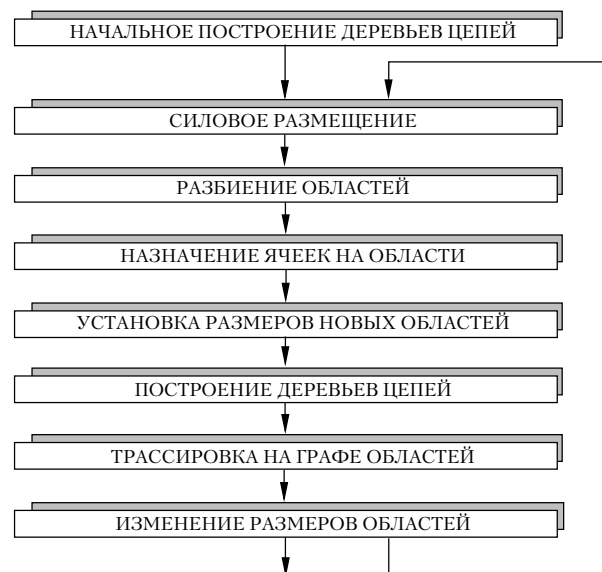
Поэтому является целесообразной разработка алгоритмов, позволяющих получить равномерное заполнение монтажного пространства. Один из подобных алгоритмов описан в [5].

В настоящей статье осуществлена попытка **практической проверки метода, изложенного в [5]**. Алгоритм дополнен рядом процедур, проведен анализ результатов.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

С учетом нижепоказанных изменений алгоритм оказался очень быстрым. Но нас ожидали два сюрприза. Во-первых, оказалось, что обычное квадратичное размещение без учета перегруженности дает очень неплохие результаты, сравнимые по качеству с обычным ручным размещением. Во-вторых, учет перегруженности не повлек за собой каких-либо значительных улучшений.

АЛГОРИТМ



Начальное построение деревьев цепей

1. Используется алгоритм Прима.
2. Координатами вершин служат координаты портов и внешних контактов.
3. Метрика евклидова.
4. Соединяются все вершины — и одной области, и разных.
5. Точки разветвления не добавляются.

Силовое размещение

Функционал Φ , выражающий сумму квадратов длин проводников,

$$\Phi = \sum_{i,j} a_{ij}(x_i - x_j)^2 + \sum_{i,j} a_{ij}(y_i - y_j)^2, \quad (1)$$

где x и y — координатные векторы для n ячеек, а a_{ij} представляет связность ячеек i и j , имеет единственный минимум, который можно найти, приравняв нулю все частные производные:

$$\frac{\delta\Phi}{\delta x_i} = 0 \Rightarrow \sum_j a_{ij}(x_i - x_j) = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\delta\Phi}{\delta y_i} = 0 \Rightarrow \sum_j a_{ij}(y_i - y_j) = 0. \quad (3)$$

После очевидных преобразований получим следующие равенства:

$$x_i = \frac{\sum_j a_{ij}x_j}{\sum_j a_{ij}}; \quad y_i = \frac{\sum_j a_{ij}y_j}{\sum_j a_{ij}}. \quad (4)$$

Правые части этих равенств аналогичны известным формулам вычисления центра масс системы материальных точек.

Задача размещения решается последовательным расчетом оптимальных положений каждой ячейки, считая остальные ячейки неподвижными. Это соответствует процедуре покоординатного спуска. Поскольку целевой функционал легко минимизируемый, не овражный, то для получения хорошего приближения достаточно всего нескольких уточняющих итераций. Число необходимых итераций зависит от близости начального расположения ячеек к оптимальному, от диаметра графа связей и от порядка обработки ячеек. Число операций на каждой итерации пропорционально числу ненулевых элементов матрицы \mathbf{A} , т. е. числу связей. Коэффициенты связи a_{ij} в процессе расчета не изменяются.

Некоторые замечания.

1. В статье [5] предлагается связность инцидентных ячеек для многозвенных цепей выражать полным подграфом. Такой подход влечет за собой скучивание элементов, связанных многозвенными цепями. Мы воспользовались тем, что для каждой цепи все равно строится кратчайшее связывающее дерево.

2. Коэффициенты связи выражают число связей между ячейками, т. е. принимают значения не только 0 и 1.

3. Связи проведены не к центрам ячеек, а к соответствующим портам. Вычисления изменяются незначительно, а эффект велик. К тому же появляются вращающие моменты, которые используются для правильного поворота ячеек.

4. Чтобы растянуть сеть по области (в т. ч. и по начальной), к каждому порту области добавлена фиктивная связь с новой вершиной. Вершина располагается так, чтобы при ее добавлении центр масс дальних концов внешних связей области совпал с центром области:

$$x_N = x_G - \frac{\sum_i w_i x_i}{\sum_i w_i}; \quad y_N = y_G - \frac{\sum_i w_i y_i}{\sum_i w_i}, \quad (5)$$

где x_N, y_N — координаты новой вершины;
 x_G, y_G — координаты центра области;
 x_i, y_i — координаты дальних концов внешних связей области;
 w_i — вес соответствующей связи.

Веса связей могут отражать ценность соответствующих цепей, но сейчас все равны 1. Веса фиктивных связей новой вершины с портами содержащихся в области ячеек равны $w_N = \sum_i w_i / n$, где n — количество портов в области. Таким образом, чем больше портов на ячейке, тем сильнее ее суммарная связь с новой вершиной.

5. В панели настроек имеется пункт "релаксированные контакты". Если он выбран, то количество связей ячеек с внешними контактами будет разным для x и y , т. к. релаксированные контакты не "тянут" по одной из координат. Это соответственно влияет на все формулы (в частности, значения w_N для x и y различаются).

6. Каждая итерация силового размещения выполняется быстро, поскольку на первых итерациях для правильного распределения ячеек по областям не нужно определять их координаты слишком точно, а на последующих требуется меньше уточнений, т. к. координаты ячеек уже близки к равновесным. Как показывают результаты тестирования, обычно требуется около пяти итераций.

Разбиение областей

Каждая область разделяется на две части попеременно более длинной стороны.

Назначение ячеек на области

Критерием разделения выступают координаты центра тяжести ячеек.

Установка размеров новых областей

Площади двух новых областей пропорциональны суммарным площадям содержащихся в них ячеек.

Построение деревьев цепей

1. Используется алгоритм Прима.
2. Координатами вершин служат координаты портов и внешних контактов.
3. Метрика евклидова.
4. Соединяются все вершины — и одной области, и разных.
5. Точки разветвления не добавляются.

6. Построенные деревья сохраняются до следующей итерации, чтобы дать информацию о связях силовому размещению.

Трассировка на графе областей

1. Используется алгоритм оптимального поиска A^* [11, с. 68–88].
2. Метрика манхэттеннова.
3. Координатами целевых вершин служат координаты портов и внешних контактов (вопреки уверениям авторов [5], никаких потерь по сравнению с

режимом ячеек или областей это не влечет, а точность выше).

4. В качестве координат узлов графа трассировки используются координаты центров областей.

5. Не осведомленный о перегруженностях трассировщик будет понапрасну перегружать центральную часть кристалла, тогда как зачастую можно найти другой путь той же или чуть большей длины (в манхэттенской метрике), но проходящий через менее загруженные места. Так что в нашей методике знание трассировщика о перегруженностях является существенным.

6. Порядок проведения трасс: от коротких к длинным. Такой порядок дает лучшие результаты в условиях перегруженности.

7. Связывающие деревья цепей не изменяются во время трассировки.

8. Фронт волны хранится в отсортированном виде или в виде логарифмического справочника; реализованы оба варианта, выбор производится директивами условной компиляции.

9. Результатом трассировки является информация о загруженности ребер (в статье не учитывается) и о загруженности областей вертикальными и горизонтальными участками трасс, включая и трассы, которые заканчиваются в области. К последней величине добавляется лепта от вертикальных и горизонтальных участков внутренних трасс области (без проведения трассировки).

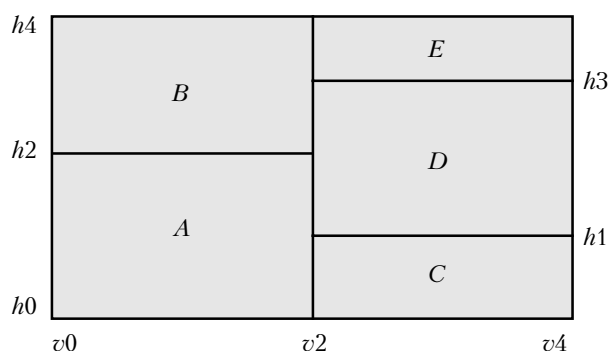


Рис. 1. Разбиение кристалла

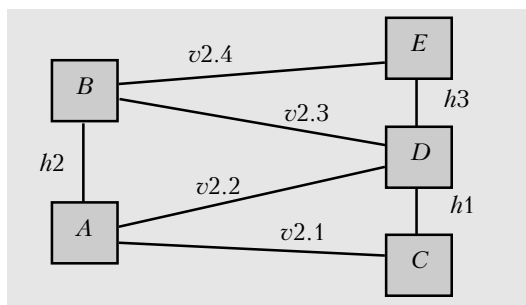


Рис. 2. Граф смежности областей

Изменение размеров областей

Предлагаемая в [5] методика не ясна, понятия веса области, диагональной матрицы роста, а также их связь с силовым размещением вызывают недоумение. Обычно для решения подобных задач ис-

пользуются методы сетевого планирования, что мы и сделали.

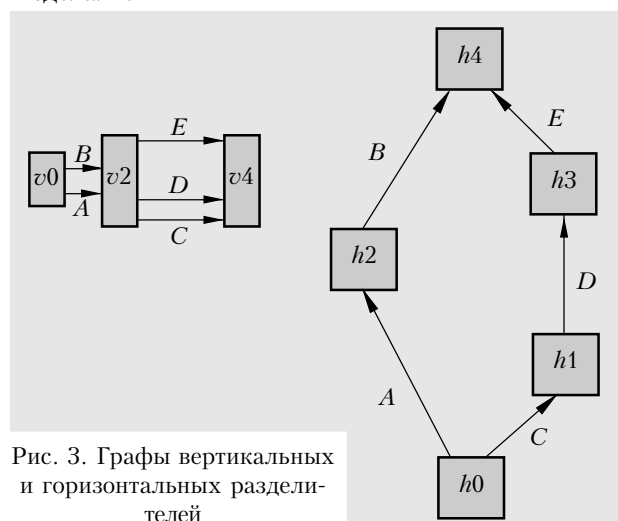


Рис. 3. Графы вертикальных и горизонтальных разделителей

Найдя критические пути в сетевом графике, определяем необходимые размеры кристалла.

После изменения размеров областей пересчитываем координаты ячеек. Пусть X_L, Y_B и X_R, Y_T — координаты соответственно левого нижнего и правого верхнего углов прямоугольной области до изменения ее размеров, X_L^*, Y_B^* и X_R^*, Y_T^* — после изменения размеров, x, y — координаты какой-либо ячейки из этой области до изменения размеров области. Тогда координаты этой ячейки после изменения размеров (x^*, y^*) выразятся так:

$$x^* = X_L^* + (x - X_L) \frac{X_R^* - X_L^*}{X_R - X_L};$$

$$y^* = Y_B^* + (y - Y_B) \frac{Y_T^* - Y_B^*}{Y_T - Y_B}.$$

(6)

Это обеспечивает пропорциональное растяжение/сжатие всего содержимого области без изменения относительного расположения. Специальные преобразования координат выполняются и для всех внешних контактов.

ВЫВОДЫ

1. Повторный запуск программы обычно дает результат, отличный от предыдущего (изменяются входные данные — конкретно, деревья цепей). Поэтому целесообразно произвести некоторое число итераций и выбрать лучший результат.

2. Помимо суммарной длины связей в целевую функцию можно ввести также число пересечений связей, наличие (количество) скрученных последовательностей [12] и их длину, и т. д. Кроме того, при определении размеров областей (см. выше) следует помимо суммарных площадей содержащихся в них ячеек учесть и суммарное число задействованных контактов.

3. Сравнение осуществлялось с "ручным" размещением и с размещением, полученным с помощью системы "Spectra". Качество размещения оценива-

лось по результатам трассировки платы трассировщиком "FreeStyle Route" [13, 14]. Во всех рассмотренных примерах (их, правда, было только около десятка) были получены значительно лучшие результаты.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Помазанов В. М. К задаче о размещении ячеек в панели / В кн.: Применение вычислительных машин для проектирования цифровых устройств.— Под ред. Н. Я. Матюхина.— М.: Сов. радио, 1968.
2. Duggal R., Holland T., Messinger H. P. A comparison of new and existing placement algorithms for auto-print circuit board layout // Proc. Nat. Electr. Conf.— 1968.— Vol. 29.— P. 694—700.
3. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств.— М.: Сов. радио, 1977.
4. Тетельбаум А. Я. Об одном методе оптимального размещения конструктивных единиц и внешних контактных площадок // В сб.: Автоматизация проектирования в электронике.— К.: Техніка, 1975.— Вып. 11.— С. 98—103.
5. Parakh P. N., Brown R. B., Sakallah K. A. Congestion driven quadratic placement / 35th DAC.— 1998.— P. 275—278.

6. Yousef S. Iterative methods for sparse linear systems.— PWS Publishing Company.
7. David E. S. et al. Meshach: matrix computations in C // Proceedings of the Center of mathematics and its applications.— Australian National University.— 1994.— Vol. 32.
8. Казеннов Г. Г., Сердобинцев Е. В. Автоматизация проектирования БИС. Кн. 6. Проектирование топологии матричных БИС.— М.: Высш. шк., 1990.
9. Suaris P. R. et. al. A quadrisection-based combined place and route scheme for standard cells // IEEE TCADICS.— 1989.— Vol. 8, N. 3.— P. 234—244.
10. Абрайтис Л. Б. Автоматизация проектирования топологии цифровых интегральных микросхем.— М.: Радио и связь, 1985.
11. Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений.— М.: Мир, 1973.
12. Aurenhammer F. On-line sorting of twisted sequences in linear time // ВІТ.— 1978.— N 28.— P. 194—204.
13. Лузин С. Ю., Полубасов О. Б. Пакет гибкой топологической трассировки "FreeStyle Route" // Мат-лы междунар. науч.-техн. конф. "Системы и средства передачи и обработки информации".— Одесса, 1997, с. 35.
14. Лузин С. Ю., Полубасов О. Б. Трассировка печатных плат. Новые методы решения старых проблем // САПР и графика.— 1997.— № 11.— С. 58—59.

Издательско-полиграфический комплекс

Московского государственного института электронной техники



НОВЫЕ КНИГИ

Гусев В. В., Самоуликов В. К.
Физические основы проектирования оборудования

Настоящее пособие написано на основе курса лекций, прочитанных для студентов 3-го курса факультета автоматики и электронного машиностроения (АЭМ) МИЭТ. В сжатой форме изложены аспекты прикладной физики, необходимые для понимания принципов работы и выполнения расчетов элементов современного технологического оборудования и электрофизического оборудования бытового назначения. Рассмотрены основополагающие законы и закономерности для физико-термических и плазмохимических технологических процессов, приведены расчетные зависимости, используемые для оценки конструктивно-технологических параметров оборудования. Каждая глава и большинство параграфов снабжены блоками вопросов для самоконтроля, которые должны помочь обучающимся усвоить и закрепить учебный материал.

Для студентов инженерно-конструкторских специальностей вузов.



Дополнительная информация по тел. (095) 532-9832, e-mail: ipk@rnd.miee.ru

в портфеле редакции



в портфеле редакции

в портфеле редакции

➤ Об оценке эффективности АТМ-коммутаторов методом имитационного моделирования. *Ю. А. Семшин, Ю. Г. Майба, О. В. Литвинова (Украина, г. Одесса)*

➤ Техника и технология полимерных сферических микролинз для волоконно-оптических систем. *Я. В. Бобицкий, А. П. Лаба (Украина, г. Львов)*

в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции