

цией комплексного умножения, значительно уменьшить число внутренних связей, повысить регулярность и однородность структуры. Универсальность алгоритма Волдера дает возможность выполнять на описанном устройстве также операции вычисления элементарных функций, преобразования координат и другие сложные операции, широко используемые при цифровой обработке сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Введение в цифровую фильтрацию/Под ред. Р. Богнера, А. Константинодиса.— М.: Мир, 1976.
2. Volder J. E. The CORDIC trigonometric computing technique.— IRE Trans., 1959, vol. 3, p. 330—334.
3. Мельник А. А. Качественная оценка основных параметров конвейерных операций.— УДК 681.3.06.001.2

И. В. ТЮЧКАЛОВ

(Томск)

СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К ЗАДАЧЕ РАЗМЕЩЕНИЯ РАЗНОГАБАРИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Актуальным направлением автоматизированного проектирования является структурное конструирование, предназначенное для создания сложных схем на базе упрощенных описаний их архитектуры.

Развиваемая нами программа структурного проектирования базируется на двух простых принципах. Во-первых, в замкнутую технологическую цепочку объединяются мини-ЭВМ, автоматически генерирующая топологию фотошаблонов печатных плат, и средства автоматизированного документирования и производства. Во-вторых, применяются методы интерактивного управления процессами проектирования и многотерминального доступа к пакетам программ и структурам данных, включающим библиотеки элементов, системные таблицы, описания логической структуры данных, исходные описания, касающиеся компонентов и электрических связей между ними, графические и текстовые результаты.

В настоящей работе рассмотрена задача структурного размещения разногабаритных элементов на поверхности печатной платы при одновременной предварительной трассировке межэлементных соединений.

Постановка задачи. Структурной моделью электрической схемы является однозначно скомпонованное дерево «минимальных групп»*. Эквивалентные цепи схемы имеют вид «звезд», протрассированных по вертикали и горизонтали соединений.

Размещение компонентов, выравнивание, определение ориентации (угла поворота) и выявление групп компонентов (фрагментов схемы) с фиксированным положением элементов друг относительно друга осуществляются автоматически или вручную в интерактивном режиме.

Для выделения каждого типа компонентов или фрагментов выбираются прямоугольные гнезда. Размеры прямоугольника определяются таким образом, чтобы суммарное число контактов фрагмента или компонента схемы не превышало некоторого заданного числа, зависящего от площади клетки.

Суммарная длина ортогональных соединений, общее число точек ветвления в звездах соединений, а также количество соединений, проходящих по вертикали и горизонтали через любую клетку, минимизируются на этапах размещения компонентов и оптимизации.

Алгоритм решения. Для каждого предварительно выделенного фрагмента или компонента схемы находятся размеры гнезда. Элементами данного уровня фрагментации назовем компоненты или равные им по геометрическим размерам гнезда фрагменты схемы. Пары сильно связанных компонентов или фрагментов схемы предыдущего уровня свертываются в минимальные группы, и выбираются размеры гнезд для вершин данного уровня. Достаточным условием однозначности свертки является соотношение

$$K < \max (K_1, K_2), \quad (1)$$

где K — количество внешних связей фрагмента следующего уровня, а K_1 и K_2 — количества внешних связей объединяемых во фрагмент элементов.

* Селютин В. А. Машинное конструирование электронных устройств.— М.: Сов. радио, 1977.

Если неравенство (1) не выполняется, то формируются списки возможных групп, удовлетворяющих условию

$$K < K_1 + K_2. \quad (2)$$

Состав групп уточняется при свертке в группы следующих уровней фрагментации. В зависимости от начальных условий процесс фрагментирования может заканчиваться, когда геометрические размеры прямоугольников, охватывающих фрагменты, становятся сравнимыми с размерами платы. На данном этапе однозначно доопределяется дерево «минимальных групп». «Висячим» вершинам дерева соответствуют компоненты и предварительно заданные фрагменты схемы.

На следующем этапе печатная плата разбивается по горизонтали и вертикали на клетки, равные прямоугольникам, охватывающим скомпонованные фрагменты и предварительно заданные компоненты. При этом автоматически осуществляется выравнивание элементов фрагментации. Угол поворота компонентов либо выбирается предварительно, либо определяется таким образом, чтобы более длинная сторона прямоугольников для большинства клеток была ориентирована вдоль более длинной стороны платы.

В результате разбиения получается структурный список клеток. К нему последовательно, начиная с верхнего уровня структуры, применяется алгоритм полного перебора и подстановки. В каждую клетку подставляются соответствующие ей фрагменты. При подстановках трассируются электрические соединения выбранного элемента с уже размещенными элементами и вычисляется количество точек ветвления каждой эквипотенциальной цепи (звезды). Точкам ветвления звезд и ортогональным трассам приписывается «цена», зависящая от максимальной плотности соединений вдоль трасс, с помощью которой рассчитывается функция критерия качества подстановки. По окончании полного перебора для всех элементов вычисляются разности между максимальным и минимальным значениями критериальной функции. После этого соответствующий элемент устанавливается в клетку, для которой полученная разность максимальна. Полный перебор и установка элементов повторяются до исчерпания компонентов и фрагментов данного уровня. Затем проводится начальное размещение подфрагментов и элементов внутри фрагментов в соответствии с вышеописанными шагами.

По завершении начального размещения полученные координаты и ориентация элементов совместно со структурным списком клеток используются алгоритмом оптимизации. Доразмещение осуществляется методом парных и групповых перестановок компонентов и фрагментов. Конструктор начинает строить схему с какой-то определенной точки на листе. Для более качественной оптимизации необходимо предварительно указать эту точку. По умолчанию в качестве начальной точки выбирается геометрический центр платы. Список клеток ранжируется по расстоянию относительно выбранной точки, начиная с прямоугольников, соответствующих большему фрагменту, после чего проводятся полный перебор и перестановка групп клеток. Для каждой группы рассчитывается функция критерия до и после перестановки элементов групп. Те элементы данного уровня, для которых достигнута отрицательная разность между значениями функции, меняются местами. Алгоритм оптимизации размещения заканчивает работу, если не найдено ни одной перестановки, дающей уменьшение функции критерия. Варьируя критериальную функцию, можно получать решения, минимизирующие суммарную длину ортогональных соединений, количество точек ветвления в протрассированных звездах и т. п.

Заключение. Предложенный алгоритм реализован на ЭВМ типа СМ-4. Программный модуль функционирует в системе технологического проектирования печатных плат. Он осуществляет размещение компонентов печатной платы и формирует выходной текстовый файл для дальнейшей автоматической трассировки и доработки монтажной схемы. Модуль воспринимает ввод данных различного типа, касающихся компонентов и электрических связей между ними. Информация для ввода может быть получена в результате выполнения программы «Трансляция данных электрических цепей» или из библиотек описания геометрического расположения контактов и электрических связей компонентов, а также в результате ввода компонентов платы при помощи средств проектирования. Программа позволяет определять «мертвые зоны». Критические компоненты можно объединять в группы с сохранением их положения относительно друг друга. Предусмотрено преобразование текущих данных о компонентах и электрических соединениях в нужный формат для графического вывода на дисплей или бумажный носитель.

В настоящее время программа может размещать до 300 корпусов на плате, при этом обеспечивается 95% (и более) автоматически трассируемых электрических соединений (расстояние между проводниками — 1,25 мм, плотность — 2 контакт/см² на двусторонней печатной плате). Модуль запускается с системного или пользовательского терминала и требует 40 Кбайт оперативной памяти.

Поступило в редакцию 6 апреля 1984 г.