

УДК 681.32

АЛГОРИТМ КОРРЕКЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ РАЗНОГАБАРИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Е.И.Беляев, Л.И.Макаров

Одним из этапов автоматизации проектирования радиоэлектронной аппаратуры является размещение на плате схем из разногабаритных элементов с высоким качеством по длине соединений и плотности. Известные алгоритмы решения этой задачи характеризуются либо малым быстродействием [1,2], либо невысоким качеством результатов [3-5], либо требуют вмешательства человека в процесс конструирования [6,7].

Известны специальные алгоритмы для случаев, когда все элементы имеют прямоугольную форму, например, матричный алгоритм [8] и алгоритм плотного размещения [9]. Они более эффективны, чем вышеприведенные, но не лишены ряда недостатков: велик объем перебора, способы его сокращения слабообоснованы; трудоемок учет длины соединений при выборе и установке элемента; неясны условия размещения наиболее крупных элементов.

Более совершенный алгоритм может быть построен путем разбиения задачи на два этапа:

1 - предварительное размещение элементов схемы на плате по критерию длины соединений [10]; на этом этапе достигается определенная быстрота и качественность результата по длине соединений; но размещение может оказаться недопустимым: в конкретных случаях отдельные элементы могут накладываться друг на друга или выступать за границу платы;

2 - коррекция предварительного недопустимого размещения, т.е. совершение операций, способствующих наиболее полному размещению элементов без существенного увеличения длины соединений.

В настоящей работе описывается алгоритм решения задачи коррекции.

Исходной информацией для этапа коррекции является выходная информация этапа предварительного размещения [10]. Как и в [10], под платой, запрещенными зонами и элементами понимаются их P -модели. Пусть

P - плата - прямоугольник со сторонами A, B , заданный в собственной системе координат (X, Y) ;

$Z = \{Z_t\}$, $t = \overline{1, T}$, - множество запрещенных зон в виде прямоугольников в системе (X, Y) со сторонами a_t и b_t (в это множество включены также и элементы, положение которых фиксировано на плате до размещения);

$R = \{R_i\}$ - множество элементов ($i = \overline{1, n}$) в виде прямоугольников со сторонами a_i, b_i , заданных в собственных системах координат (X_i, Y_i) ;

S - система соединений элементов схемы, необходимая для оценки их размещения по величине суммарной длины;

Q_0 - предварительное размещение n элементов на плате, т.е. множество троек $\{x_i, y_i, \theta_i\}$, где (x_i, y_i) - координаты репера (начала системы (X_i, Y_i)) i -го элемента, а θ_i - его ориентация (угол поворота (X_i, Y_i)) относительно системы координат (X, Y) платы; $i = \overline{1, n}$;

N - множество неразмещенных элементов, т.е. тех, которые делают размещение Q_0 недопустимым;

L_0 - величина суммарной длины соединений предварительного размещения элементов схемы.

Задача этапа коррекции: заданное предварительное размещение Q_0 с параметрами $\{N_0, L_0\}$ и P, Z, R, S, δ преобразовать в новое размещение Q_k с параметрами $\{N_k, L_k\}$ так, чтобы $N_k \rightarrow 0$, а $L_k - L_0 = \Delta L \leq \delta$.

Поскольку поиск допустимого размещения всех элементов (такого, что $N_k = 0$) может потребовать практически неприемлемого времени счета, а в конкретных случаях оно вообще может не существовать, то решено строить эвристический быстродействующий алгоритм коррекции, дающий более высокую плотность расположения элементов при незначительном отклонении от предварительного размещения Q_0 .

Эти требования основываются на неравенствах $\Delta L \leq \delta$ и $N_k < N_0$ исходной задачи коррекции размещения.

Представляется целесообразным способ локальной коррекции размещения в окрестности неразмещенных элементов, так как их количество может быть относительно небольшим. Но на основе предваритель-

ного рассмотрения этой задачи видно, что соответствующие алгоритмы были бы весьма усложненными, и все же не гарантировали бы ожидаемого увеличения быстродействия и надежности. Поэтому предлагаемый алгоритм основан на последовательном переразмещении в схеме всех элементов (кроме фиксированных до этапа предварительного размещения).

Требования высокой плотности получаемого размещения и быстродействия предлагаемого алгоритма реализуются на основе идей, описанных в [7,9], и состоят в следующем. В процессе уплотнения множество элементов, размещенных к данному шагу, образует область (обычно односвязную), граница которой представляет собой непрерывный ряд чередующихся горизонтальных и вертикальных отрезков (контур размещения). Очередной размещаемый элемент ставится в один из углов контура размещения, после чего контур соответственно пересчитывается.

Требования незначительного отклонения получаемого размещения от предварительного, а также увеличения быстродействия, удовлетворяются путем разбиения платы на ячейки и применения в выбранном порядке обхода ячеек процедуры уплотнения для каждой ячейки отдельно.

Блок-схема алгоритма коррекции размещения приведена на рис.1.

В блоке 1 выполняется разбиение платы на ячейки без просветов и наложений любым простым способом (например, регулярной решеткой, см. рис. 2).

В блоке 2 каждый элемент заносится в специальный подмассив, соответствующий той ячейке, в которой находится его репер. Дальнейшие операции над элементом определяются только его принадлежностью к этой ячейке, и информация о его предварительном размещении не используется.

Количество M ячеек платы и, следовательно, размер ячейки, являются управляющими параметрами алгоритма. В общем случае уменьшение размера ячейки отрицательно влияет на плотность результирующего размещения, и положительно - на длину соединений и быстродействие алгоритма. Точные зависимости этих параметров от размера ячейки неизвестны, поэтому для удовлетворения ограничения на величину ΔL размер ячейки следует выбирать экспериментально в процессе работы алгоритма.

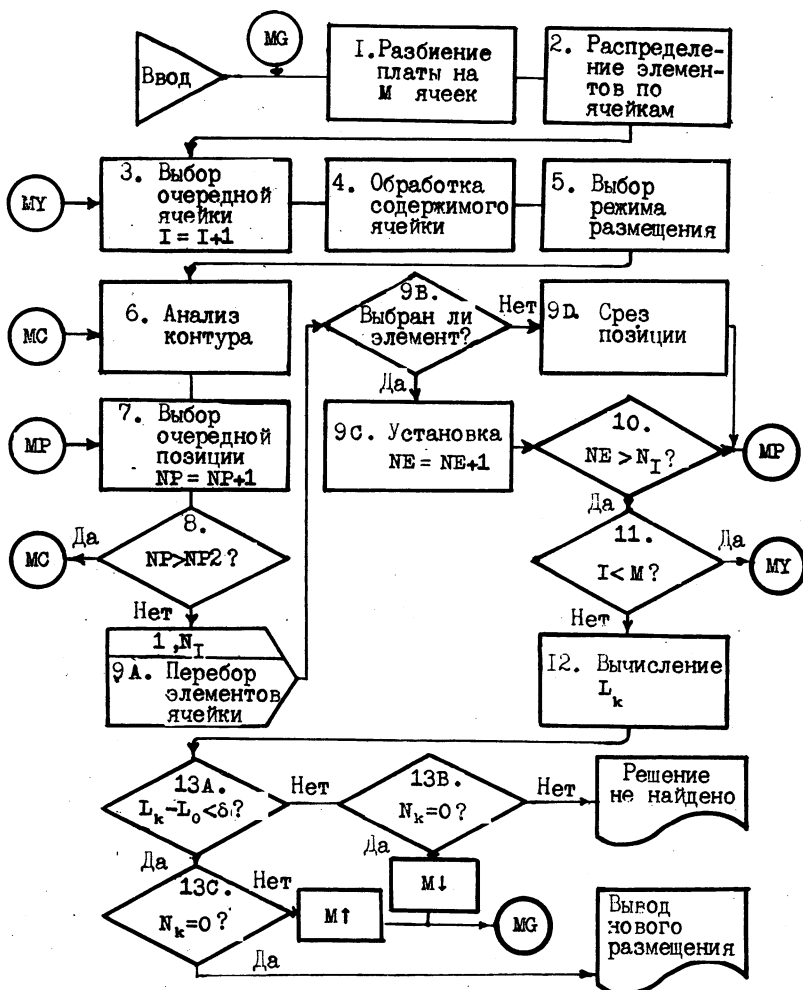


Рис. 1. Макро-блок-схема алгоритма коррекции размещения:
 M – число ячеек; I – текущий номер очередной ячейки; N_I – число элементов в ячейке I ; NE – текущий номер размещенного элемента; $NP2$ – число позиций в контуре размещения; NP – текущий номер занимаемой позиции.

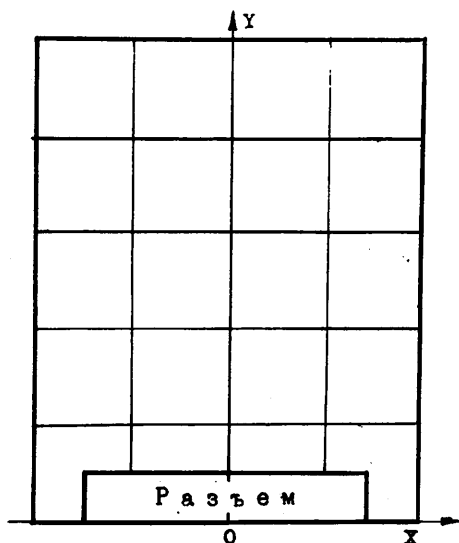


Рис. 2

В блоке 3 выбирается счередная ячейка. Порядок ее выбора зависит от задания начального контура размещения, т.е. контура, по направлению к которому будет производиться процедура уплотнения элементов. В качестве начального контура размещения может быть выбрана, например, граница фиксированного элемента типа "разъем" или стороны прямого угла с вершиной в точке 0 на границе платы (рис.2).

Наиболее рациональным в плане исходных требований представляется волновой обход: прежде всего

выбираются ячейки, содержащие участки начального контура, затем соседние с ними и т.п. В отдельных случаях могут быть применены и другие способы обхода, например, "строчно-кадровый", но при этом также должны выполняться требования непрерывности, неповторности и полноты обхода ячеек.

В блоке 4 формируется массив элементов ячейки; для каждого элемента распознаются большая и меньшая стороны; отыскиваются элементы с максимальной и минимальной длинами сторон; вычисляются расстояния от запрещенных зон до границ контура размещения.

В блоке 5 выбирается режим размещения в зависимости от наличия и положения запрещенных зон.

В блоке 6 выполняется анализ текущей конфигурации контура размещения. В каждой точке излома контура (рис.3) его отрезки составляют прямой угол, либо занятый некоторым элементом (например 1), либо свободный (например 1+1). В последнем случае угол назовем допустимым для установки элемента.

Для размещения элементов данной ячейки выбирается непрерывный ряд отрезков контура, ограниченный недопустимыми углами, бли-

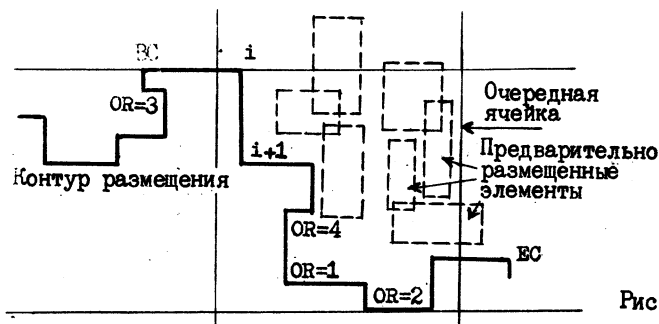


Рис. 3.

жайшими справа и слева (извне) к границам столбца этой ячейки (см. рис. 3, BC и EC),

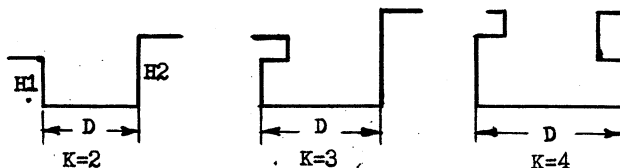


Рис. 4

Позицией типа k на контуре размещения назовем непрерывную серию k допустимых углов, ограниченную недопустимыми (на рис.4 приведены возможные позиции на контуре размещения). Шириной позиции D назовем самую длинную сторону между двумя допустимыми углами; смежные с ней стороны назовем высотами.

В блоке 7 производится выбор позиции. Для размещения очередного элемента выбирается позиция с наибольшей шириной, а в качестве установочной точки - ее угол с наибольшей высотой.

Если позиций типа $k \geq 2$ нет, а имеются только допустимые углы ("лестница"), то для размещения выбирается угол, ближайший к начальному контуру размещения.

В блоке 8 проверяется, исчерпан ли список позиций.

В блоках 9А-9С производится выбор и установка элемента.

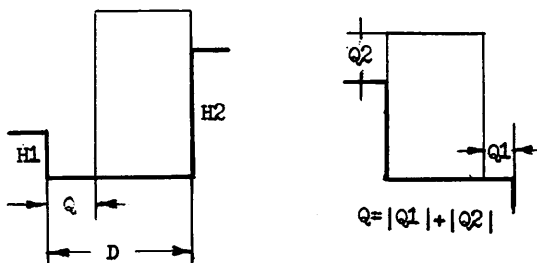


Рис. 5

Выбирается критерий размещения Q : для позиций $k \geq 2$ - разность ее ширины и установочной стороны элемента; для угла - сумма абсолютных значений тех же разностей по обеим его сторонам (рис.5). Вы-

бирается и устанавливается элемент с минимальным значением Q .

В блоке 9D, если ни один элемент к данной позиции не подошел, производится ее срез - полный для $k = 2$ и частичный для $k > 2$.

После установки (или среза) пересчитывается контур размещения.

В отдельном блоке, аналогичном блоку 9 (на рис. 1 не изображен), производится учет запрещенных зон. Вводится параметр размещения A_k . Если расстояние от ближайших границ контура размещения до запрещенных зон больше A_k , выбирается режим "дальней запрещенной зоны". При выборе позиции измеряется расстояние от нее до запрещенной зоны; когда оно становится менее A_k , принудительно размещается наибольший из оставшихся элементов; совершается переход к режиму "ближней запрещенной зоны", в котором при формировании позиций и выборе критериев размещения учитывается граница зоны; после заполнения окрестности запрещенной зоны ее граница включается в контур размещения, и снова выбирается режим. Величина A_k подбирается экспериментально в процессе работы алгоритма.

В блоке 10 проверяется, исчерпан ли список элементов ячейки. Если нет - операции повторяются.

В блоке 11 проверяется, исчерпан ли список ячеек. Если нет - выбирается очередная ячейка, и все описанные операции повторяются. Если да - очередной вариант размещения считается построенным.

В блоке 12 вычисляется длина соединений.

Поскольку описанные критерии Q (блок 9) обеспечивают более высокую плотность, чем на этапе предварительного размещения, в итоге следует ожидать уменьшение числа неразмещенных элементов.

В блоке 13 проверяется выполнение условий по допустимости размещения ($N_k = 0$) и по приращению длины связей ($L_k - L_0 \leq \delta$). Если оба условия выполнены - выводятся данные нового размещения. Если нарушено ограничение только по длине, то размер ячейки уменьшается, а если только по допустимости - увеличивается; происходит возврат на блок 1. Если нарушены оба условия - значит при этих исходных данных задача не может быть решена описанным алгоритмом.

Упрощенно оценим возможное быстроедействие алгоритма. Пусть схема содержит n элементов и плата разбита на M ячеек, в ячейке I содержится n_I элементов, т.е. $\sum_{I=1}^M n_I = n$. Пусть $\alpha_1, \alpha_2, \beta, \gamma$ - эмпирические коэффициенты.

В предположении, что число возможных позиций в текущем состоянии контура пропорционально $\sqrt{n_I}$, затраты времени на выбор позиции можно выразить как $\alpha_1 \sqrt{n_I}$; для установки в каждую позицию испытываются βn_I элементов; эти операции повторяются γn_I раз. Следовательно, оценка машинного времени на выполнение данного алгоритма имеет вид: $T_k = \sum_{I=1}^M (\alpha_1 n_I^2 + \alpha_2 n_I \sqrt{n_I})$, т.е. при возраста-

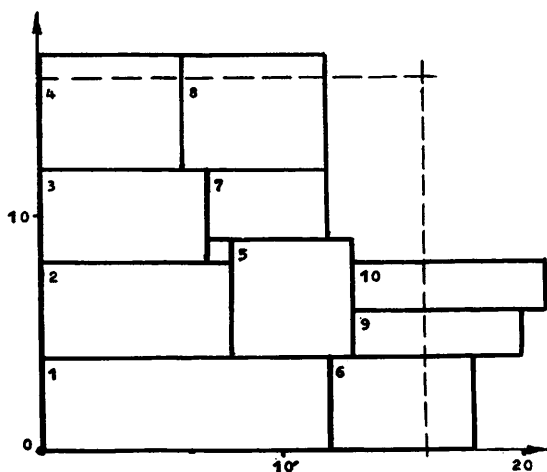


Рис. 6

нии числа элементов время растет примерно линейно, если среднее число элементов в ячейке постоянно и квадратично, если само число ячеек постоянно.

Для описанного алгоритма коррекции составлена программа на языке ПЛ/1 для ЭВМ ЕС-1050 (система ОС). Ре-

результаты размещения внутри одной ячейки для схемы из 10 разногабаритных элементов приведены на рис.6 (пунктиром обозначена граница ячейки, цифрами - вычисленный порядок размещения); время счета составило 10,6 сек.

Следует ожидать, что предлагаемый алгоритм, основанный на сочетании алгоритма предварительного размещения [10] с описанным алгоритмом коррекции, приведет к повышению быстродействия и улучшению качества размещения.

Кроме того, в случаях, когда допустимого решения данный алгоритм коррекции с первого испытания не находит, он может быть использован для построения более эффективных алгоритмов с направленным поиском, основанных на его многократном применении с модификацией ряда управляющих параметров.

Л и т е р а т у р а

1. СТОЯН Ю.Г. Размещение геометрических объектов. - Киев: Наукова думка, 1975.
2. СТОЯН Ю.Г., ГИЛЬ Н.И. Методы и алгоритмы размещения плоских геометрических объектов. - Киев: Наукова думка, 1976.
3. МАТИЦКАС И.-К.Л., РУБЛЯУСКАС Д.А. Итерационный алгоритм размещения разногабаритных элементов. - В кн.: Вычислительная техника, вып. VI. Материалы конференции, Каунас, 1974, с.57-69.
4. ПОЦЕНЕ Б.А., РУБЛЯУСКАС Д.А. Результаты экспериментального исследования алгоритма размещения разногабаритных элементов. - В кн.: Вычислительная техника, вып. VIII. Материалы конференции, Каунас, 1976, с.7-9.
5. ФИКС, КЭСКИ, УЭСТ. Автоматическое проектирование печатных плат. - Тр. ин-та инж. электротехн. и радиоэлектроники, 1967, т.55, № II, с.217-228.
6. БАХТИН В.И., КОСТЮК В.И. Конструктивно-узловой метод автоматического проектирования печатных плат. - В кн.: Вычислительная техника, вып. III. Материалы конференции, Каунас, 1971, с.34-37.
7. ROSE N.A., OLOFIELD J.V. Printed-wiring board layout by computer. - Electronica & Power, 1971, v.17, Oct., p.376-379.
8. ПОНОМАРЕНКО Л.Д., ЛУКАНИНА В.М. Матричный способ организации вычислений. - В кн.: Комбинаторная геометрия и оптимальное размещение, Киев, Наукова думка, 1974.
9. РЫЧКОВ Л.А., КУЗЬМИН Б.А., ЭЙДЕС А.А. Алгоритм размещения радиоэлементов разной формы. - Приборы и системы управления, 1979, № 2, с.1-3.
10. КАШИН В.И., МАКАРОВ Л.И. Итеративно-последовательный алгоритм размещения моделей разногабаритных элементов. - Настоящий сборник, с. 64-77.

Поступила в ред.-изд.отд.
10 июля 1980 года