

ИТЕРАТИВНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ РАЗМЕЩЕНИЯ МОДЕЛЕЙ РАЗНОГАБАРИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.И.Кашин, Л.И.Макаров

При автоматизации проектирования цифровых устройств со схемами из одинаковых элементов задача их размещения на плате обычно сводится к задаче оптимизации размещения моделей элементов в виде точек в узлах решетки, являющейся моделью платы. При этом шаг решетки задается таким образом, чтобы он удовлетворял технологическим требованиям к расстоянию между элементами и обеспечивал возможность проведения трасс, соединяющих контакты элементов схемы.

Поскольку при проектировании устройств со схемами из разногабаритных элементов точечные модели элементов неприемлемы, то предлагаемый алгоритм использует иной тип моделей. Алгоритм состоит из двух этапов: на первом этапе проводится построение прямоугольников, являющихся плоскими моделями платы, запрещенных зон и размещаемых элементов, на втором - размещение моделей элементов в модели платы.

Пусть на плоскости в прямоугольной системе координат (X, Y) задан прямоугольник P со сторонами a, b парой своих угловых точек (x', y') , (x'', y'') , т.е. таких, что для всех точек $(x, y) \in P$ справедливо $x' \leq x \leq x'', y' \leq y \leq y''$ и $x'' - x' = a, y'' - y' = b$. Прямоугольник, для которого $x'_0 = x' - c, y'_0 = y' - c, x''_0 = x'' + c, y''_0 = y'' + c$, назовем **объемлющим** заданный P на величину c . Прямоугольник, для которого $x'_i = \min x_i, y'_i = \min y_i, x''_i = \max x_i, y''_i = \max y_i$, назовем **габаритным** прямоугольником системы точек $(x_i, y_i), i = \overline{1, n}$. Прямоугольник P со сторонами, кратными некоторой величине h , будем обозначать через $P(h)$. Систему координат, в которой задан прямоугольник, будем называть **собственной**, а ее начало - **репером**.

Пусть на плоскости заданы прямоугольники P_0 и P_i в собственных правых системах координат (X_0, Y_0) и (X_i, Y_i) . Тогда ориентация прямоугольника P_i назовем значением положительного угла поворота системы (X_i, Y_i) вместе с P_i вокруг его репера относительно системы (X_0, Y_0) . Ниже будем рассматривать только ориентации прямоугольников, кратные 90° . Размещение прямоугольника P_i на прямоугольнике P_0 считаем заданным, если заданы координаты его репера и ориентация относительно системы координат (X_0, Y_0) . Размещение прямоугольников $P_i, i = \overline{1, n}$, на прямоугольнике P_0 назовем допустимым, если все P_i содержатся в P_0 и любые два P_i и P_k не имеют общих внутренних точек, а величину $\alpha = \sum_{i=1}^n \sigma_i / \sigma_0$, где $\sigma_i = a_i \cdot b_i, a_i$ и b_i - стороны $P_i, i = \overline{0, n}$, назовем плотностью такого размещения.

Исходной информацией для алгоритма размещения служат описание геометрии платы с запрещенными зонами, схемы устройства, т.е. геометрии элементов и системы их соединений (связок), и конструктивных и технологических требований.

Плата P_0 задается в виде прямоугольника со сторонами A и B в собственной правой системе координат (X, Y) .

Множество $\{z_\tau\}, \tau = \overline{1, \tau_0}$, зон, запрещенных для размещения элементов, задается в системе (X, Y) как множество прямоугольников, размещенных на плате P_0 .

Расположенный на плате i -й элемент, $i = \overline{1, n}$, задается в собственной правой системе координат (X_i, Y_i) габаритным прямоугольником совокупности проекций на плоскость платы своих компонентов, т.е. корпуса, контактов, крепежных отверстий и т.д. Проекция каждого компонента задается прямоугольником в той же системе координат (X_i, Y_i) и называется далее компонентом. Множество всех n элементов схемы обычно состоит из нескольких классов. К одному классу относятся элементы, имеющие одни и те же одинаково расположенные компоненты, т.е. все n_i элементов 1-го класса, $i = \overline{1, N}$, задаются одинаковыми прямоугольниками, $n = \sum_{i=1}^N n_i$. Для элементов каждого класса задается положение их контактов, т.е. для k -го контакта i -го элемента указываются координаты (x_{ik}, y_{ik}) его центра в собственной системе элемента.

Система соединений элементов схемы задается в виде множества связок $S = \{s_j\}, j = \overline{1, m}$. Каждая связка содержит множество контактов, которые на плате должны быть соединены между собой трас -

сой, т.е. $s_j = \{(i, k)_d\}$, $d = \overline{1, d_j}$, где k - номер контакта i -го элемента, входящего в связку s_j ; d_j - степень связки. При этом для множества S должны выполняться условия: каждая связка содержит не менее двух контактов и каждый контакт входит только в одну связку. Связку и элемент называют инцидентными, если в связку входит хотя бы один контакт элемента. Множество связок $s_j(i)$, инцидентных i -му элементу, обозначим через $S(i)$, а их число (степень элемента) - через $d(i)$.

Технологические требования задаются таблицей технологических ограничений, в которой для каждой пары типов (p, q) компонентов элементов, платы и запрещенных зон указано минимально допустимое расстояние r_{pq} между ними, и таблицей технологических параметров (шаг H решетки размещения, номинальная ширина трассы и т.д.) и размеров стандартных компонентов. Из технологических требований вытекают следующие требования к размещению: для каждой пары элементов и элемента и запрещенной зоны должны выполняться технологические ограничения и репер каждого элемента должен находиться в узле решетки размещения.

Конструктивные требования задаются множеством F элементов, размещение которых на плате задано заранее, $|F| = n^0$, и множеством W пар элементов, имеющих ограничения на взаимное расположение на плате. Возможны два вида ограничений: элементы-"враги" должны быть расположены не ближе, а элементы-"друзья" - не дальше заданного расстояния между ними. Кроме того, к элементам, размещенным на плате, предъявляется качественное требование "равномерности" размещения, вытекающее из интуитивных представлений о "хороших" условиях трассировки.

Изложенные выше требования к размещению элементов определяют процесс построения моделей элементов, платы и запрещенных зон. Каждая из моделей позволяет выполнить определенные требования к размещению элементов при плотном без налеганий размещении их моделей. O -модель учитывает только технологические ограничения, T -модель - технологические ограничения и "равномерность" размещения, P -модель - технологические ограничения, "равномерность" размещения и необходимость расположения репера элемента в узле решетки размещения.

Рассмотрим, как строятся O -модели элементов, платы и запрещенных зон. Во множестве K всех типов компонентов выделяется подмножество K_z типов, относящихся только к описанию элементов схемы.

Для каждого компонента p -го типа i -го элемента строится прямоугольник, объемлющий компонент на величину $\delta_p = \frac{1}{2} \max_q r_{pq}$, при этом если $p \in K_3$, то $q \in K_3$, а если $p \in K \setminus K_3$, то $q \in K$. Габаритный прямоугольник G_i совокупности объемлющих прямоугольников всех компонентов i -го элемента является его 0-моделью, а 0-моделью запрещенной зоны z_τ , $\tau = \overline{1, \tau_0}$, состоящей из одной компоненты 1-го типа, $l \in K \setminus K_3$, является прямоугольник P_τ , объемлющий z_τ на величину $\delta_l = \max_{p \in K} (r_{lp} - \delta_p)$. Далее, 0-моделью платы P_0 , состоящей из компоненты типа $k \in K \setminus K_3$, служит прямоугольник P , для которого P_0 является объемлющим на величину $\delta_k = \max_{p \in K} (r_{kp} - \delta_p)$.

И наконец, P -моделью запрещенной зоны z_τ является наименьший прямоугольник $P_\tau(N)$, содержащий P_τ , а P -моделью платы является наибольший прямоугольник $P(N)$, содержащийся в P .

Для построения T -моделей элементов необходимо количественно определить "равномерность" их размещения. Пусть на плате P размещены элементы P_i , $i = \overline{1, n}$. Разобьем P на k конгруэнтных областей площади σ . Размещение назовем равномерным, если справедливы неравенства $|\alpha - \alpha_j| \leq \epsilon$, $j = \overline{1, k}$, где α - плотность размещения на плате, $\alpha_j = \sigma(j)/\sigma$ - плотность размещения в j -й области; $\sigma(j)$ - суммарная площадь элементов или их частей, попавших в j -ю область; ϵ - заданная величина отклонения плотностей, $0 \leq \epsilon \leq 1$. Данное определение равномерности размещения имеет тот недостаток, что справедливость неравенств зависит от выбора величины и формы областей разбиения.

Для каждого размещенного P_i найдем окрестность g_i как часть P , каждая точка которой находится от P_i на расстоянии не больше, чем от любого из остальных P_l , $l \neq i$. Тогда размещение назовем равномерным, если справедливы неравенства $|\alpha - \alpha_i| \leq \epsilon$, $i = \overline{1, n}$, где $\alpha_i = \sigma_i/\sigma(i)$, σ_i - площадь элемента P_i , $\sigma(i)$ - площадь окрестности g_i . Недостатком этого определения равномерности является сложность вычислений при нахождении окрестностей элементов. Кроме того, недостатком обоих определений является тот факт, что равномерность устанавливается для уже имеющегося размещения всех элементов и при этом не учитываются условия трассировки около каждого конкретного элемента. Приведем определение равномерности размещения, у которого отсутствуют указанные недостатки.

Построим Т-модели элементов, предполагая, что

$$\sigma_i'' = \sigma_i' + \lambda \sigma_i^0 \cdot \frac{\sigma_i^0}{\sigma_i'} \quad , \quad i = \overline{1, n} \quad ,$$

где σ_i'' - площадь Т-модели i -го элемента; σ_i' - площадь 0-модели i -го элемента G_i ; λ - коэффициент пропорциональности; $\sigma_i^0 > 0$ - площадь запрещенных для трассировки областей i -го элемента, включая площадь его контактов. Отметим, что Р-модели запрещенных зон и Т-модели элементов не всегда могут целиком заполнить Р-модель платы, поэтому в дальнейшем предполагаем известной величину плотности $\alpha = (\sigma'' + \sigma_z)/\sigma$, где σ_z - площадь объединения всех Р-моделей запрещенных зон внутри Р-модели платы; σ - площадь Р-модели платы, $\sigma'' = \sum_{i=1}^n \sigma_i''$, $1 \leq \alpha \leq (\sigma' + \sigma_z)/\sigma$, $\sigma' = \sum_{i=1}^n \sigma_i'$. Отсюда $\alpha\sigma - \sigma_z = \sigma'' = \sigma' + \lambda\Delta$, $\Delta = \sum_{i=1}^n (\sigma_i^0)^2 / \sigma_i'$, т.е. $\lambda = (\alpha\sigma - \sigma_z - \sigma') / \Delta \geq 0$.

Далее Т-моделью i -го элемента считаем прямоугольник T_i с площадью σ_i'' , объемлющий прямоугольник G_i и подобный ему. Размещение элементов на плате будем считать равномерным, если ему соответствует допустимое размещение их Т-моделей.

Определение границ изменения величины α , необходимой для нахождения Т-моделей, в процессе проектирования производится экспериментально, поскольку ее аналитические выражения удастся найти только для простых способов размещения элементов.

Построение Р-модели R_i элемента производится делением величины расстояний от его репера до всех сторон Т-модели на величину шага n и округлением результата до целого. Обозначим через R_i' такую Р-модель i -го элемента, которая содержится в его Т-модели T_i и объемлет его 0-модель G_i , а через R_i'' обозначим его Р-модель, объемлющую T_i . Для всех элементов одного класса одна из Р-моделей выбирается на основе решения задачи минимизации отклонения суммарной площади Р-моделей от суммарной площади Т-моделей.

Пусть $\sigma_R' = \sum_{i=1}^n \sigma_{R_i}' = \sum_{i=1}^N \sigma_i'$, $\sigma_R'' = \sum_{i=1}^n \sigma_{R_i}'' = \sum_{i=1}^N \sigma_i''$, где σ_{R_i}' - площадь R_i' ; σ_{R_i}'' - площадь R_i'' ; $\sigma_i' = n_1 \cdot \sigma_{R_i}'$ - суммарная площадь R_i' элементов 1-го класса; $\sigma_i'' = n_1 \cdot \sigma_{R_i}''$ - суммарная площадь R_i'' элементов 1-го класса. Пусть

$$\sigma_1 = \sigma'' - \sigma'_1, \quad 1 = \overline{1, N}, \quad \sigma'' = \sum_{i=1}^n \sigma_i'', \quad D = \sigma'' - \sigma_{R'}, \quad x_1 \in \{0, 1\}.$$

Задача минимизации отклонения формулируется следующим образом: найти вектор $x = (x_1, \dots, x_1, \dots, x_N)$ такой, что $|D - \sum_{i=1}^N x_i \sigma_i| \rightarrow \min$.

Эта задача сводится к двум задачам о рюкзаке и решается приближенным алгоритмом. Вектор x^* , являющийся решением задачи, задает

для элементов 1 -х классов, соответствующие переменные которых $x_1^* = 1$, модель $R_1 = R_1''$, а для элементов остальных классов - модель $R_i = R_i'$. Различные модели элемента показаны на рис. I. (Цифрами на рис. I обозначены: 1 - корпус; 2 - контакты; 3 - крепеж; 4 - 0-модель;

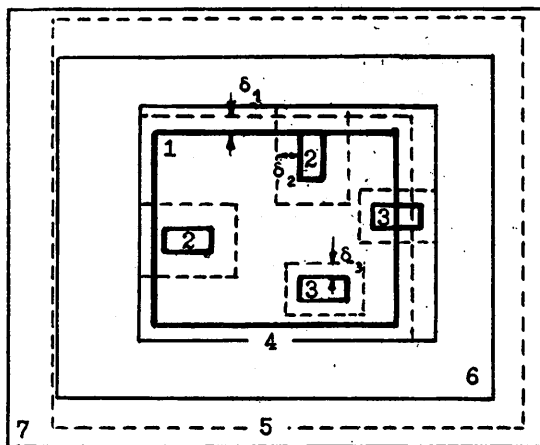


Рис. I

дальше; 5 - Т-модель; 6 - Р-модель R' ; 7 - Р-модель R'' .) Далее под платой, запрещенными зонами и элементами схемы понимаются их Р-модели.

Качество допустимого размещения элементов схемы при выполнении вышеизложенных требований оценивается суммарной длиной их соединений. Для i -го элемента, размещенного на плате, известны координаты (x_i, y_i) его репера и ориентация θ_i в системе (X, Y) платы, а значит, известны и координаты (x_{ik}, y_{ik}) каждого его k -го контакта в этой системе. Для заданного размещения всех элементов определим длину связки $s_j = \{(i, k)_d\}$, $d = \overline{1, d_j}$, как величину

$$l_j = \sum_{d=1}^{d_j} (|x_d - x_j| + |y_d - y_j|), \quad \text{где } d\text{-й контакт связки } s_j \text{ явля-}$$

ется k -м контактом i -го элемента и имеет координаты (x_{ik}, y_{ik}) , а в качестве точки (x_j, y_j) может быть выбран или центр системы контактов связи a_j , $j = \overline{1, m}$ (см. [1]), или геометрический центр

той же системы, при этом $x_j = \sum_d \frac{x_d}{d_j}$, $y_j = \sum_d \frac{y_d}{d_j}$.

Тогда задача размещения разногабаритных элементов на плате формулируется следующим образом: найти такое допустимое размещение, т.е. наборы троек (x_i, y_i, θ_i) , элементов R_i , $i = \overline{1, n}$, на плате $P(N)$ с запрещенными зонами $P_\tau(N)$, $\tau = \overline{1, \tau_0}$, что $L = \sum_{i=1}^n l_i \rightarrow \min$ при ограничениях $P_\tau(N) \cap R_i = \emptyset$, $x_i/N, y_i/N$ - целые при $i = \overline{1, n}$, $\tau = \overline{1, \tau_0}$.

Отметим, что известные точные алгоритмы решения этой задачи имеют малое быстродействие [2], а эвристические приближенные - невысокое качество результатов [3,4].

В настоящей статье для приближенного решения задачи размещения предлагается эвристический итеративно-последовательный алгоритм, на каждой итерации которого производится перераспределение нефиксированных элементов и фиксирование (окончательное размещение) части их в соответствующей области платы. При переходе к следующей итерации размеры областей уменьшаются, при этом соседние области платы выбираются перекрывающимися друг друга. Покрывание платы областями, в которых происходит размещение, повышает быстродействие алгоритма, а перекрытие соседних областей обеспечивает возможность перехода нефиксированных элементов при их перераспределении из одной области в другую и тем самым ведет к уменьшению суммарной длины соединений.

Рассмотрим разбиение на ячейки платы $P(N)$ со сторонами A и B , $A \geq B$, с помощью системы целочисленных решеток $\{C_\mu\}$ в координатах (X, Y) . Решетка C_μ с шагом $h_\mu = N\mu^t$, где $\mu \geq 2$ - целая константа, $t = 0, 1, \dots, T = \lfloor \log_\mu \frac{A}{N} \rfloor$, $\lfloor x \rfloor$ - целое число, не меньшее x , разбивает плату на ячейки со сторонами, равными h_μ .

Наименьший прямоугольник $P_i(h_\mu)$, содержащий R_i , назовем t -представлением $\pi_i(t)$ i -го элемента, предполагая, что все его контакты находятся в центре $\pi_i(t)$. Величину $\alpha_i(t) = \sigma_i / \sigma_i(t)$, где σ_i - площадь элемента, а $\sigma_i(t)$ - площадь $\pi_i(t)$, назовем t -плотностью i -го элемента. Очевидно, что $\pi_i(0) = R_i$ и $\alpha_i(0) = 1$. Размещение t -представления $\pi_i(t)$ на плате такое, что его стороны совпадают с линиями решетки C_μ , назовем t -приближенным размещением i -го элемента, или его t -проекцией $M_i(t)$.

Допустимое размещение элемента, сохраняющееся до конца работы алгоритма, будем называть окончательным размещением, или фиксированием. Каждую запрещенную зону $P_t(N)$ можно считать фиктивным фиксированным элементом (без контактов). По определению допустимого размещения, все фиксированные элементы не пересекаются друг с другом. Однако при приближенном размещении элементов мы допускаем возможность пересечения их t -проекций между собой и с фиксированными элементами.

Для каждой k -й ячейки решетки C_k определим величину ее плотности заполнения $\beta_k(t) = \beta_k^0(t) + \beta_k^+(t)$, где $\beta_k^0(t) = \sum_{f \in F'} \sigma_f / \sigma_k^0(t)$, $\beta_k^0(t) \leq 1$, $\beta_k^+(t) = \sum_{i \in E_k(t)} \alpha_i(t)$, $\sigma_k^0(t) = h_k^2$ - площадь k -й ячейки, σ_f - площадь пересечения фиксированного элемента f с k -й ячейкой; F' - множество всех имеющихся фиксированных элементов; $F' \supseteq F$, $|F'| = n_f$; $E_k(t)$ - множество элементов, t -проекции которых содержат k -ю ячейку.

Для заданной t -проекции $M_i(t)$ ее плотность определим как среднюю плотность заполнения ее ячеек

$$\beta^i(t) = \sum_{k \in M_i(t)} \beta_k(t) / n_i(t), \quad n_i(t) = \sigma_i(t) / h_k^2.$$

Связку назовем несвободной, если она инцидентна хотя бы одному размещенному элементу. Если $S^0(i)$ - множество несвободных связей $s_j^0(i)$, инцидентных i -му элементу, а $d^0(i)$ - их число, то величину $d_i = 2d^0(i) - d(i)$ назовем его связностью. Назовем полупериметром $\omega_j(i)$ несвободной связки $s_j^0(i)$ полупериметр габаритного прямоугольника системы ее размещенных контактов, а ее центром - геометрический центр $(x_j(i), y_j(i))$ той же системы. Назовем охватом t -проекции i -го элемента величину $\omega^i(t) = \sum_j \omega_j(i)$. Координаты центра t -проекции $M_i(t)$ обозначим через $x_i(t), y_i(t)$. Назовем отклонением t -проекции $M_i(t)$ величину $l_i(t) = \sum_j (|x_j(i) - x_i(t)| + |y_j(i) - y_i(t)|)$ и отклонением i -го элемента в его 0 -проекции величину $l_i^0 = \sum_j (|x_j(i) - x^j| + |y_j(i) - y^j|)$, где x^j, y^j - координаты того контакта i -го элемента, который входит в связку $s_j^0(i)$.

Рассмотрим поблочно работу алгоритма размещения (рис.2), начиная с блока локального размещения (рис.3). Предположим, что на плате задано начальное размещение элементов (часть элементов фиксирована, а остальные размещены приближенно) и выделена прямоугольная область Q , составленная из ячеек решетки C_t . Множество всех нефиксированных элементов, t -проекции которых содержатся в области Q , обозначим через E_Q , а через E'_Q — подмножество элементов из E_Q , площадь t -проекций которых превосходит h_t^2 .

Блок локального размещения в области Q состоит из трех процедур:

1. Последовательное приближенное размещение элементов $e_i \in E_Q$. Для размещения в качестве очередного элемента из E_Q выбирается элемент e_i с лексикографически наибольшим вектором $(d_i, d(i), \sigma_i)$, где d_i — связность, $d(i)$ — степень, σ_i — площадь i -го элемента, а в качестве его t -проекции выбирается t -проекция с лексикографически наименьшим вектором $(\omega^t(i), l_1^t(t), \beta^t(t))$, где $\omega^t(i)$ — охват, $l_1^t(t)$ — отклонение, $\beta^t(t)$ — плотность t -проекции элемента e_i .

2. Последовательное фиксирование элементов $e_i \in E'_Q$. В качестве очередного кандидата для фиксирования из E'_Q выбирается элемент e_i с лексикографически наибольшим вектором $(d(i), \sigma_i)$, а фиксирование производится в той допустимой 0-проекции элемента e_i , в которой его отклонение l_1^0 минимально (с учетом различных ориентаций элемента). Если в области Q допустимой 0-проекции элемента не существует, то он остается размещенным приближенно. Результатом этой процедуры является фиксирование некоторого множества $E''_Q \subseteq E'_Q$ "больших" элементов.

3. Повторение процедуры 1 (последовательное приближенное размещение) для элементов $e_i \in E_Q \setminus E''_Q$, если $E''_Q \neq \emptyset$.

Во всех процедурах блока локального размещения учитываются ограничения на расстояния между элементами из множества пар элементов W .

Блок локального размещения в соответствии с выбранными критериями изменяет начальное размещение элементов в области Q в зависимости от взаимного положения всех элементов на плате и увеличивает число фиксированных элементов. Сходимость алгоритма (его способность получить допустимое размещение всех элементов) и качество результата его работы (значение целевой функции L для результирующего размещения) во многом определяются заданием покрытия платы упорядоченным множеством областей.

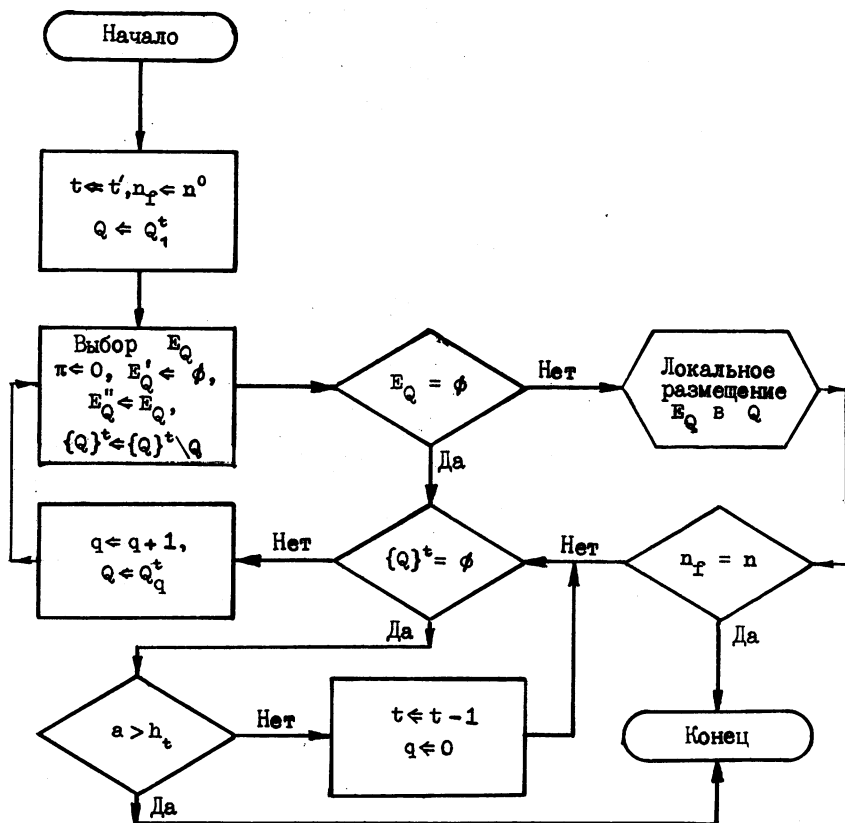


Рис.2. Блок-схема алгоритма.

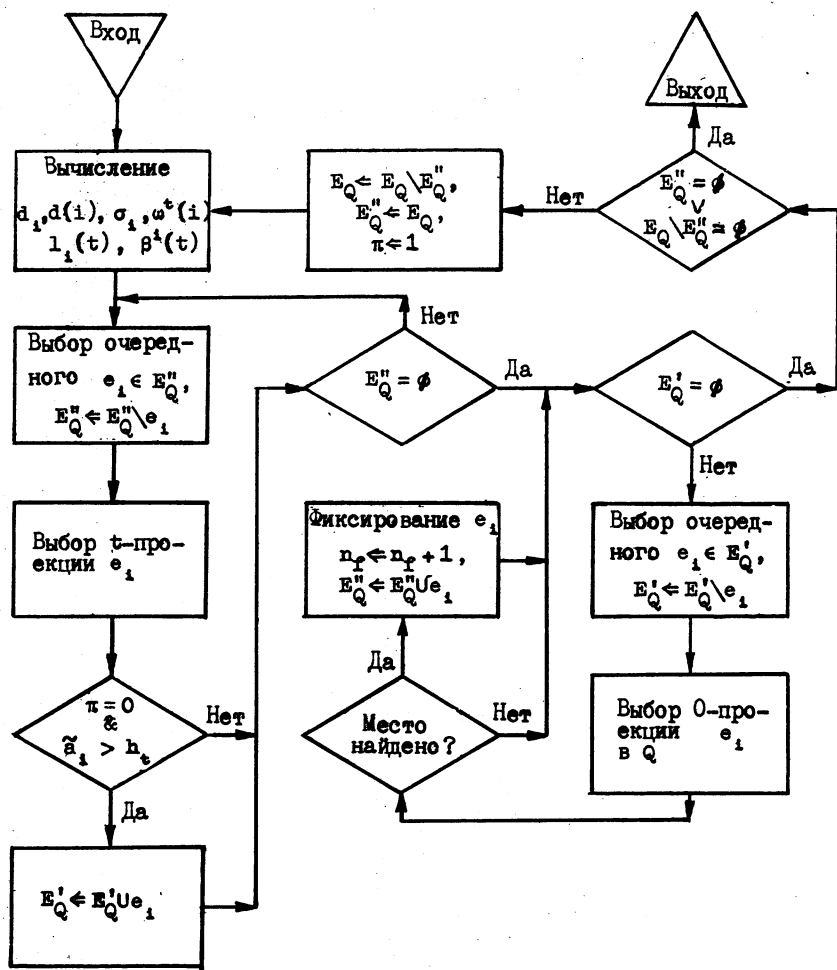


Рис.3. Блок-схема локального размещения,

Рассмотрим один из возможных способов покрытия платы семейством $\{Q\}$ областей, предназначенных для локального размещения элементов. Пусть v - целая константа, $1 \leq v \leq \mu$. Определим для каждого $t = 0, 1, \dots, T_Q$, $T_Q = T - 2$, семейство $\{Q\}_t$ квадратных областей со сторонами $\mu^2 h_t$ посредством задания координат (x, y) их левых нижних точек

$$x = k_x v \mu h_t, \quad k_x = 0, 1, \dots, k_x^0, \quad k_x^0 = \left\lfloor \frac{A - \mu^2 h_t}{v \mu h_t} \right\rfloor,$$

$$y = k_y v \mu h_t, \quad k_y = 0, 1, \dots, k_y^0, \quad k_y^0 = \max(0, \left\lfloor \frac{B - \mu^2 h_t}{v \mu h_t} \right\rfloor).$$

Каждое семейство $\{Q\}_t$ является покрытием платы и содержит $r_t = (k_x^0 + 1)(k_y^0 + 1)$ областей, при этом если $v = \mu$, то области семейства не пересекаются. Размеры областей выбраны таким образом, чтобы каждая область семейства $\{Q\}_t$ была одной ячейкой решетки S_{t+2} . Области каждого семейства перенумеруем обходя по спирали против часовой стрелки их левые нижние точки, т.е. (k_x, k_y) : $(0, 0)$, $(1, 0), \dots, (k_x^0, 0)$, $(k_x^0, 1), \dots, (k_x^0, k_y^0)$, $(k_x^0 - 1, k_y^0), \dots, (0, k_y^0)$, $(0, k_y^0 - 1), \dots, (0, 1)$, $(1, 1), \dots$. Пример покрытия платы областями приведен на рис.4 для $\mu = 3$, $v = 2$, $T_Q = 1$; семейство $\{Q\}_1$ состоит из единственной области Q , семейство $\{Q\}_0$ состоит из 12 перенумерованных областей, из которых первая заштрихована, а вторая разбита на ячейки со сторонами h и пересекается с I-й, 3-й, 10-й, 11-й и 12-й областями.

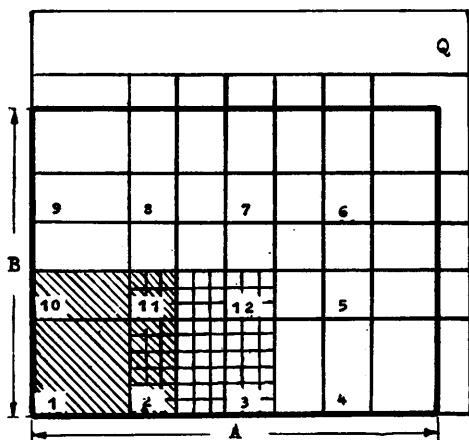


Рис. 4

Для получения результирующего размещения в алгоритме (рис.2) применяется следующая последовательность локальных размещений. Первое локальное размещение делается в единствен -

ной области семейства $\{Q\}_{T_Q}$, при этом часть области, не совпадающая с платой, считается запрещенной зоной, следующие локальные размещения - в областях семейства $\{Q\}_{T_Q-1}$ в соответствии с их нумерацией и т.д. до значения $t=t_0$, для которого справедливо $H \leq h_{t_0} < a \leq \mu h_{t_0}$, где $a = \min_i \tilde{a}_i$, $\tilde{a}_i = \max(a_i, b_i)$, $i = \overline{1, n}$, a_i и b_i - стороны i -го элемента. Заметим, что если $a \leq \mu^2 H$, то $T_Q = 0$, $h_0 = H$ и результат первого локального размещения будет окончательным, при этом алгоритм будет работать в режиме последовательного фиксирования элементов.

Каждое последующее локальное размещение улучшает качество предыдущего размещения в своей области, изменяя положение нефиксированных элементов. Если выбрано $\nu < \mu$, то соседние области семейств пересекаются и элемент, неудачно расположенный на плате в процессе локального размещения может быть перемещен на значительное расстояние, что приводит к улучшению качества размещения.

Алгоритм прекращает работу, предварительно вычислив значение функции цели L , при выполнении одного из условий: $a > h$, $n_f = n$, n_f - число фиксированных на плате элементов.

Время работы алгоритма пропорционально величине $nAB + n^2 \log A$, а требуемая память - величине AB . Для приведенного алгоритма составлена программа на языке ПЛ/I для ЕС-1050, имеющая около 1500 операторов. Машинное время, затраченное на размещение схемы с 46 элементами и 27 связками на плате размером 100 x 50, составило 193 сек.

Естественно, данный алгоритм не гарантирует получения допустимого размещения всех элементов. Для уменьшения числа нефиксированных элементов необходимо применять специальный алгоритм коррекции полученного предварительного размещения [5].

Л и т е р а т у р а

1. МАКАРОВ Л.И. Размещение и трассировка в плоской прямоугольной решетке. - В кн.: Автоматизация проектирования в микроэлектронике. Теория. Методы. Алгоритмы (Вычислительные системы, вып. 64). Новосибирск, 1975, с.63-72.
2. ГАЛАТА А.Я., СТОЯН Д.Г. Рациональное конструирование радиоплат с помощью ЭЦМ. - Автоматика и вычислит. техн., 1973, № 3, с. 48-55.
3. ПОЦЕНЕ В.А., РУБЛЯУСКАС Д.А. Результаты экспериментального исследования алгоритма размещения разногабаритных элементов. - В кн.: Вычислительная техника. Вып. УИ, Каунас, 1976, с.7-9.

4. РЫЧКОВ Л.А., КУЗЬМИН Б.А., ЭЙДЕС А.А. Алгоритм размещения радиоэлементов разной формы. - Приборы и системы управления, 1979, № 2, с.1-3.

5. БЕЛЯЕВ Е.И., МАКАРОВ Л.И. Алгоритм коррекции размещения разногабаритных элементов. - Настоящий сборник, с. 78-86.

Поступила в ред.-изд.отд.

II сентября 1980 года