УДК 621.38.01

АЛГОРИТМ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ С РАВНОМЕРНЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ МОНТАЖНОГО ПРОСТРАНСТВА

С. Н. ГАНЖА, А. В. КАРПЕНКО

Северодонецкий технологический институт Восточноукраинского национального университета им. В. Даля

С. А. ГАНЖА

Северодонецкий химико-механический техникум

У статті розглянуто алгоритм розміщення елементів на друкованих платах. Алгоритм засновано на рівномірному заповненні монтажного простору елементами й електричними ланцюгами. Довжина ланцюгів оцінюється сумою математичних очікувань контактів ланцюга за обома координатами. За рахунок цього більш точно оцінюється довжина ланцюга й, у порівнянні з традиційними методами, при перерозміщенні елемента оцінка просто перераховується

Задача размещения электро- радиоэлементов на печатной плате – одна из важнейших задач в автоматизированном проектировании радиоэлектронной аппаратуры. От того, насколько оптимально размещены элементы на монтажном пространстве, сильно зависят результаты последующей трассировки печатных проводников и, как результат, электрические, эксплуатационные и конструктивно-технологические параметры разрабатываемой печатной платы. Для решения этой задачи используется большое число алгоритмов, в основном, итерационных, целью оптимизации которых является упрощение решения задачи трассировки за счёт уменьшения длины цепей, упрощения их конфигурации и т.д.

Цель и задачи исследования

Большая часть известных алгоритмов основывается на минимизации суммарной длины цепей, при этом за длину цепи принимается полупериметр прямоугольника, охватывающего все контакты цепи. В результате применения такой целевой функции, нередко оказывается, что при последующей трассировке, в некоторых областях монтажной поверхности нужно будет провести слишком большое количество цепей. Некоторые цепи, не исключено, окажется просто невозможно реализовать вовсе, или их реализация станет достаточно сложной, и приведёт к перегрузке цепями других соседних областей трассировки. В итоге, возможно, придётся проводить ручную доработку проекта трассировки, или использовать больший размер монтажной поверхности. То есть, в этих алгоритмах, качество автоматизированного размещения может оказаться низким, и неудовлетворяющим требованиям практики.

Интуитивно ясно, что нужно реализовать такое размещение компонентов, при котором нигде на монтажной поверхности не будет большой насыщенности поверхности цепями. Тогда последующую трассировку цепей можно будет выполнить легче.

Целевая функция и алгоритм размещения

Данная работа посвящена попытке, формализовать эту идею, на основе понятия о плотности цепи. Авторами исследовался эвристический алгоритм формирования ортогонального дерева Штейнера для контактов цепи, и исследовались его статистические характеристики. В процессе этого исследования было установлено, что длина дерева Штейнера статистически связана с среднеквадратическими отклонениями контактов цепи по осям X и Y, следующими соотношениями.

$$M_x(c) = (\sum X_i(c)) / N(c); \tag{1}$$

$$M_y(c) = (\sum Y_i(c)) / N(c); \tag{2}$$

$$\sigma_x(c) = \sqrt{\sum X_i^2(c) - \sum X_i(c))^2 / N(c)) / N(c);} \tag{3}$$

$$\sigma_y(c) = \sqrt{\sum Y_i^2(c) - \sum Y_i(c))^2 / N(c)) / N(c);} \tag{4}$$

$$L(c) = (\sigma_x(c) \times \sqrt{N} + \sigma_y(c) \times \sqrt{N}) \times (1{,}5 \pm 0{,}14); \tag{5}$$

где $X_i(c)$ и $Y_i(c)$ – координаты i-го контакта цепи С по осям X и Y; $N(c)$ – число контактов цепи С; $M_x(c), M_y(c)$ – математические ожидания координат контактов цепи X и Y; $\sigma_x(c), \sigma_y(c)$ – несколько изменённые среднеквадратические отклонения контактов цепи от математических ожиданий; $L(c)$ – длина дерева Штейнера, построенного по контактам цепи.

С целью проверки адекватности предложенной оценки реальной длине цепи, было проведено моделирование на ЭВМ. С помощью генератора случайных чисел создавались цепи в виде ортогональных деревьев Прима с количеством вершин от двух до двадцати. В результате были получены следующие усреднённые зависимости отношения $L_{реал} / L_{оц}$ для цепей с различным количеством N (кривая 1) на рисунке. Для сравнения $L_{реал} / L_{оц}$ для полупериметра охватывающего прямоугольника (кривая 2).

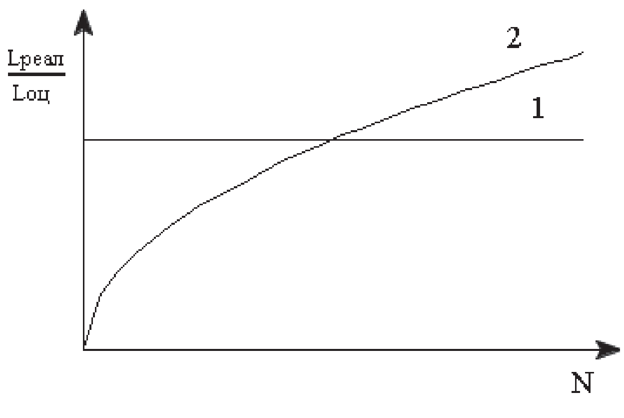

Рис. 1. **Зависимость отношения $L_{реал} / L_{оц}$ от количества контактов цепи**

Как видно из графика, предложенная оценка не зависит от количества контактов цепи, пропорциональна длине цепи с постоянной погрешностью и, следовательно, более точно оценивает длину цепей. Что касается положения цепи на монтажной поверхности, то оно хорошо описывается прямоугольной областью, определяемой следующими условиями:

$$x \in [M_x(c) - \sigma_x(c) \times \alpha, M_x(c) + \sigma_x(c) \times \alpha] \tag{6}$$

$$\& \; y \in [M_y(c) - \sigma_y(c) \times \alpha, M_y(c) + \sigma_y(c) \times \alpha] \quad (7)$$

α – коэффициент растяжения области цепи, который должен быть равен 1,5±0,15.

Для определения «Плотности» цепи, поделим длину цепи на размер прямоугольной области, предположительно, занимаемой цепью. Тогда получим следующее определение плотности цепи на этапе размещения компонентов:

$$P_c(x, y) = L(c) / (4 \times \sigma_x \times \sigma_y \alpha^2) \quad (8)$$

$$x \in [M_x(c) - \sigma_x(c) \times \alpha, M_x(c) + \sigma_x(c) \times \alpha] \quad (9)$$

$$\& \; y \in [M_y(c) - \sigma_y(c) \times \alpha, M_y(c) + \sigma_y(c) \times \alpha] \quad (10)$$

иначе

$$P_c(x, y) = 0, \quad (11)$$

где $P_c(x, y)$ – «плотность» цепи С на монтажной поверхности.

Тогда, «плотность» всех цепей на монтажной поверхности, очевидно, будет определяться следующим выражением:

$$P(x, y) = \sum\nolimits_c P_c(x, y) \quad (12)$$

где суммирование ведётся по всем цепям размещаемой схемы.

После этого, нетрудно сформулировать следующую целевую функцию, определяющую величину критерия качества размещения компонентов:

$$\iint_S P^2(x, y) \times dx \times dy \to \min \quad (13)$$

Анализируя данное выражение, нетрудно установить, что оно является безразмерным, и оценивает качество размещения безотносительно к масштабу размещаемых компонент и монтажной поверхности.

Учитывая, что в формуле для плотности, используются константы, которые не влияют на минимизацию интеграла, можно определить величину $P_c(x, y)$ с помощью несколько иного выражения:

$$P_c(x, y) = \sqrt{N} \times (1/\sigma_x + 1/\sigma_y) \quad (14)$$

Учитывая, что область, предположительно занимаемая цепью, является достаточно неточной, будем считать, что она всегда описывается целочисленным прямоугольником. Тогда интеграл можно будет заменить конечной суммой. При этом, величина P(x, y)общей плотности цепей будет определена только для целых x и y, что позволит реально воспользоваться возможностями предлагаемой целевой функции.

Рассмотрим алгоритм размещения компонентов на монтажном пространстве (печатная плата, кристалл БИС и др.), реализующий описанный выше критерий. Целью предлагаемого алгоритма является облегчение последующей трассировки за счёт равномерного заполнения электрическими цепями монтажного пространства. Для этого вся поверхность монтажного пространства разбивается на равные опорные прямоугольники и в ходе размещения минимизируется «плотность» цепей по этим прямоугольникам:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} (\sum_{k=1}^{c} P_{ijk})^2 \qquad (15)$$

где n, m – количество рядов опорных прямоугольников по координатам x и y; c – число цепей; P_{ijk} – «плотность» k-той цепи в опорном прямоугольнике (I,j).

Размещение элементов производится с помощью последовательной и итерационной процедур.

В ходе последовательного размещения вначале все компоненты условно размещаются в центре монтажного пространства, и всё монтажное пространство рассматривается как начальная свободная область. Размещение заключается в делении пополам наибольшей свободной области и перераспределении компонентов из старого центра области в центры полученных при делении областей. Деление ведётся до тех пор, пока не будут определены посадочные места для каждого компонента.

Процедура распределения компонентов по областям заключается в следующем. Проверяются пропорции по «заполненности» цепями и в качестве области для следующей установки выбирается менее заполненная область. Выбор очередного компонента на размещение производится с помощью просмотра списка нераспределённых компонентов исходной области и нахождения элемента, установка которого в выбранную область даёт минимальное приращение целевой функции.

Трудоёмкость процесса значительно уменьшится, если количество опорных прямоугольников будет возрастать по мере деления областей. Поэтому предлагается определять количество рядов опорных прямоугольников N по каждой координате исходя из соотношения.

$$N = 2^n + 1, n = 1,2,3... \qquad (16)$$

где n – номер этапа размещения.

Новый этап размещения начинается тогда, когда количество областей размещения увеличится в четыре раза по сравнению с предыдущим этапом. Полученный последовательным алгоритмом вариант размещения оптимизируется с помощью итерационной процедуры перестановок одногабаритных компонентов местами. Эксперименты с алгоритмом парных перестановок компонентов показали, что предлагаемая целевая функция обеспечивает более высокое качество размещения, чем традиционные целевые функции. Отметим ещё одно преимущество предложенной оценки длины цепей по сравнению с традиционным охватывающим прямоугольником, которое особенно существенно при итерационных алгоритмах размещения. При перестановке элемента для расчёта полупериметра прямоугольника необходим просмотр и анализ координат всех контактов цепи для перерасчёта границ охватывающего прямоугольника. Такая необходимость отпадает при использовании предложенной оценки, если по каждой цепи хранить и, в случае переразмещения, корректировать суммы $x_i(c), y_i(c), x_i^2(c)\ и\ y_i^2(c)$, следовательно, трудоёмкость корректировки не зависит от количества контактов цепи.

Надійшла