УДК 681.32

РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПАРОЙ МНОГОКОНТАКТНЫХ КОМПОНЕНТОВ

К. А. Кноп, А. В. Бессонов, Ю. И. Попов

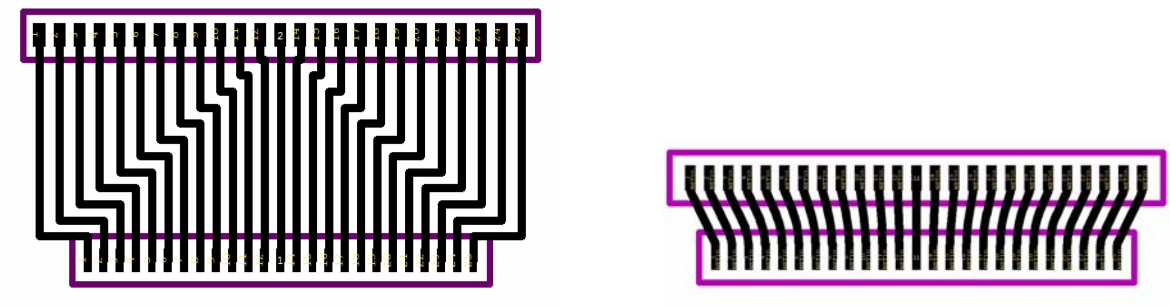
ООО «ЭРЕМЕКС»
Россия, г. Санкт-Петербург
luzin@eremex.com

Предложен метод расчета минимальной ширины канала между парой многоконтактных компонентов при трассировке соединений в произвольных направлениях.

Ключевые слова: топологическая трассировка, размещение компонентов

Рассмотрим задачу, когда даны два параллельных друг другу многоконтактных компонента, все контакты которых расположены на равных расстояниях друг от друга, и требуется расположить их на минимальном расстоянии, позволяющем произвести «поконтактную» разводку проводников между ними с учетом заданной ширины проводника d_1 и минимального зазора d_2.

В случае ортогональной разводки (рис. 1, *а*) минимальное расстояние подсчитывается легко: если число контактов равно $2N–1$, то минимальное расстояние равно сумме N ширин проводников и N зазоров между ними. В случае трассировки в произвольных направлениях (рис. 1, *б*) с дугами все не так просто. В то же время, возможность точного вычисления этой величины позволяет не только осуществлять компактное размещение компонентов, но и создавать тестовые примеры для отладки алгоритмов вычисления путей проводников в топологической трассировке [1].



а) б)

Рис. 1. Ортогональный (*а*) и произвольный (*б*) варианты разводки межсоединений

Введем следующие обозначения**:**

- h – расстояние между компонентами (считаем их горизонтальными);
- (0, 0) – координаты самой левой точки O нижнего компонента;
- P_k – правая точка того контакта верхнего компонента, для которого отрезок OP_k пересекает ровно k проложенных проводников (это k-й слева контакт). Координаты этой точки равны ($A+kB$, h), где коэффициенты A и B ищутся из системы уравнений, которые можно получить, зная координаты правых точек любых двух контактов верхнего компонента;
- L_k – левая точка того же контакта;
- d_1 – заданная ширина проводника;
- d_2 – величина минимально допустимого зазора между проводниками.

Вычисление коэффициентов A и B для стандартной конфигурации компонентов

Стандартной будем называть такую конфигурацию, в которой

1) количество контактов каждого компонента нечетно (равно $2N–1$), при этом центральные (N-е) контакты находятся точно друг под другом;

2) расстояния между центрами двух соседних контактов нижнего компонента минимальны, т. е. равны $d_1 + d_2$, а расстояния между центрами соседних контактов верхнего компонента равны $d_4 + d_3$, где d_3 – ширина контактов для верхнего компонента, d_4 – зазор между соседними контактами верхнего компонента.

При этих предположениях расстояние между точками P_k и P_{k+1} равно d_3+d_4, откуда

$$B = d_3+d_4, \tag{0.1}$$

абсцисса точки L_k равна $A – d_3+kB$, а для обеих средних точек центральных (N-х) контактов абсцисса равна $(d_1+d_2)(N–1)+0,5d_1$, откуда получаем второе уравнение системы:

$$A + NB – 0,5d_3 = (d_1+d_2)(N–1) + 0,5d_1.$$

После подстановки B из (0.1) вычисляем A:

$$A = 0,5(d_1–d_3)–d_4 – (N–1)(d_3+d_4–d_1–d_2). \tag{0.2}$$

Условия допустимости разводки (выполнение конструктивно-технологических ограничений):

$$|OP_k| \ge d_1k + d_2(k–1) \qquad \text{для любого } k, \tag{1}$$

$$|OL_k| \ge d_1(k–1) + d_2(k–1) \qquad \text{для любого } k. \tag{1L}$$

Смысл этих неравенств в том, что длины отрезков OP_k и OL_k, пересекающих несколько проводников, должны быть больше, чем суммарная ширина всех этих проводников и минимальных зазоров между ними. Если условия (1) и (1L) выполнены, то аналогичные неравенства выполнены и для любого отрезка между концами каких-либо контактов нижнего и верхнего компонентов (поскольку $d_3 \ge d_1$ и $d_4 \ge d_2$), а это является необходимым и достаточным условием допустимости прокладки проводников.

Отрезки OL_k или OP_k назовем *критичными*, если для данного k в (1) или (1L) соответственно достигается равенство. Если критичных отрезков нет, мы можем немного уменьшить h, при этом левая часть неравенств (1) и (1L) уменьшится (для каждого k), а правая не изменится. Поэтому будем считать, что критичный отрезок существует и идет от O к правой или левой точке с номером j.

Сначала выпишем условия для правых точек:

$$|OP_j| = d_1j + d_2(j–1), \tag{2.1}$$

$$|OP_{j+1}| \ge d_1(j+1) + d_2j, \tag{2.2}$$

$$|OP_{j–1}| \ge d_1(j–1) + d_2(j–2). \tag{2.3}$$

Нетрудно убедиться о том, что одновременное выполнение равенств в (2.1) – (2.3) невозможно, поэтому неравенство в (2.2) положим строгим, т. е. будем считать, что j – номер *последнего* критичного отрезка к правой точке. Вычитая из (2.2) равенство (2.1), а из (2.1) – (2.3), получим

$$|OP_{j+1}|^2 – |OP_j|^2 > (d_1+d_2)(d_1(2j+1)+d_2(2j–1)) \tag{3.1}$$

и

$$|OP_j|^2 – |OP_{j–1}|^2 \le (d_1+d_2)(d_1(2j–1)+d_2(2j–3)). \tag{3.2}$$

Выразим координаты левых частей (3.1) и (3.2) по теореме Пифагора:

$$|OP_{j+1}|^2 – |OP_j|^2 = (A+B+jB)^2+h^2 – (A+jB)^2 – h^2 = B(2A+(2j+1)B), \tag{4.1}$$

$$|OP_j|^2 – |OP_{j–1}|^2 = (A+jB)^2+h^2 – (A–B+jB)^2 – h^2 = B(2A+(2j–1)B). \tag{4.2}$$

Подставив (4.1) и (4.2) в (3.1) и (3.2) соответственно, получим после преобразований:

$$2j-1 \le 0,5\frac{-2AB-2d_2(d_1+d_2)}{B^2-(d_1+d_2)^2} < 2j+1, \tag{5}$$

$$2j \le \frac{B(B-2A)-(3d_2+d_1)(d_1+d_2)}{B^2-(d_1+d_2)^2} < 2j+2, \tag{6}$$

$$j = \left[0,5 \frac{B(B-2A)-(3d_2-d_1)(d_1+d_2)}{B^2-(d_1+d_2)^2} \right]. \tag{7}$$

Мы получили явную формулу для номера j последнего критичного отрезка к правой точке. Теперь из (2.1) найдем минимальное значение h:

$$(A + Bj)^2 + h^2 = (d_1 j + d_2 (j-1))^2, \tag{8}$$

$$h = \sqrt{(d_1 j + d_2 (j-1))^2 - (A+Bj)^2}, \tag{9}$$

где значение j найдено по формуле (7), а A и B – по формулам (0.2) и (0.1).

Аналогичный подсчет критичных значений для левых точек дает такие результаты:

$$j = \left[0,5 \frac{B(B-2A-2d_3)-3(d_1+d_2)}{B^2-(d_1+d_2)^2} \right] \tag{7L}$$

$$h = \sqrt{((d_1+d_2)(j-1))^2 - (A-d_3+Bj)^2}, \tag{9L}$$

где значение j найдено по формуле (7L), а A и B – по формулам (0.2) и (0.1).

Из двух значений h, получаемых по формулам (9) и (9L), следует выбирать наибольшее, потому что в противном случае какие-то из условий допустимости разводки (1), (1L) будут нарушаться.

Вычислительный эксперимент

Для компонентов на рис. 1 зададим параметры: $d_1 = d_2 = d_4 = 0{,}2$ мм, $d_3 = 0{,}25$ мм, $2N–1 = 25$, откуда $N = 13$.

В случае ортогональной разводки будет 12 горизонтальных участков различной длины, поэтому расстояние между компонентами должно быть таким, чтобы уместить 12 проводников и 12 зазоров между ними, отсюда $h_{\min} = 4{,}8$ мм.

В случае разводки в произвольных направлениях: последовательно находим $B = 0{,}45$, $A = –0{,}825$, $A - d_3 = –1{,}075$.

Для правых точек: $j = [7{,}353] = 7$, $h^2 = 6{,}76 - 5{,}405625 = 1{,}354375$, откуда $h \approx 1{,}17$.

Для левых точек: $j = [8{,}11] = 8$, $h^2 = 7{,}84 - 6{,}375625 = 1{,}464375$, откуда $h \approx 1{,}2101$.

Таким образом $h_{\min} = 1{,}2101$ мм, т. е. в случае разводки в произвольных направлениях расстояние между параллельными 25-контактными компонентами можно уменьшить почти в 4 раза.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Попов Ю. И., Попов С. И. Вычисление минимального по длине пути проводника в топологической трассировке печатного монтажа // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики.– 2012.– № 6 (82).– С. 117–122.

K. A. Knop, A. V. Bessonov, Yu. I. Popov

Calculation of the minimum distance between two multipin components.

A method is proposed for calculating the minimum width of a channel between a pair of multipin components in any-angle routing.

Keywords: *topological routing, component placement*