

#### 4. Выводы

В основу анализа методов положен поиск оптимальных алгоритмов принятия решения при проектировании технологической оснастки. В ходе проведенных исследований предложен алгоритм формирования технического решения при проектировании технологической оснастки. Рассматриваемый метод принятия решения дает возможность значительно сократить время проектирования за счет разработанных процедур формирования и анализа критериев конструкции технологической оснастки. Эти критерии учитывают стоимостные и трудозатратные показатели элементов конструкции. Предложенные характеристики значимости и формализации их оценок обеспечивают создание и реализацию эффективных процедур при автоматизированном проектировании ТО. Внедрение автоматизации проектирования позволит: уменьшить затраты средств и времени на проектирование и изготовление ТО, что существенно снизит себестоимость изделий и сократит цикл подготовки их производства; повысить уровень оснащенности производства; повысить уровень серийности производства.

*Научная ценность* статьи состоит в выборе рационального алгоритма принятия оптимальных решений, которые можно использовать при проектировании технологической оснастки в серийном многономенклатурном производстве.

*Практическая ценность* статьи заключается в том, что полученный алгоритм может использоваться при

проектировании технологической оснастки, а это дает возможность сократить время и стоимость проектирования на 10-25%.

**Литература:** 1. Ракович А.Г. Основы автоматизации проектирования технологических приспособлений/ Под ред. Е.А. Стародетко. Мн.: Наука и техника, 1985. 285 с. 2. Жолткевич Г.М. Автоматизация проектирования технологической оснастки: теория и практика. К.: Техника, 1998. 263с. 3. Дворякин А.М., Половинкин А.И. Методы синтеза технических решений. М.: Наука, 1977. 104с. 4. Чумаченко И.В. Расширенная алгебра регулярных схем алгоритмов с коммутативными условиями // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Зб. наук. праць. Вип.20. Харків, 1985.173с.

Поступила в редколлегию 05.04.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ильченко Б.С.

**Невлюдов Игорь Шакирович**, д-р техн. наук, проф. ХНУ-РЭ. Научные интересы: технология приборостроения, гибкие производственные системы, робототехника. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина 14, тел. (057)702-14-86.

**Второв Евгений Петрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры ТАПР ХНУРЭ. Научные интересы: системы диагностирования, ремонта и эксплуатации РЭА. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)702-14-86.

**Сотник Светлана Викторовна**, аспирантка кафедры ТАПР ХНУРЭ. Научные интересы: системы автоматизированного проектирования. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)702-14-86.

УДК621.3.049:681.3

## ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАССИРОВКА СОЕДИНЕНИЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

*ЛИТВИНОВА Е.И., ГАРКУШИН С.В.*

Описывается топологическая модель многослойной печатной платы, позволяющая выполнять топологическую и геометрическую трассировку одновременно. Модель позволяет уменьшить длину трасс, количество переходных отверстий и улучшить качество топологического рисунка.

### 1. Введение

Проектирование топологии является одним из наиболее сложных, трудоемких и ответственных этапов разработки конструкции печатного модуля. От качества топологического рисунка во многом зависит надежность устройства, его устойчивость к помехам и внешним воздействиям.

Известны различные подходы к трассировке межсоединений, основанные на использовании волновых, канальных и топологических алгоритмов. Однако ни один из них не обеспечивает стопроцентной прокладки трасс при выполнении всех заданных ограничений. Это объясняется тем, что применяемые модели и алгоритмы не являются «гибкими» и ориентированы

на оптимизацию топологии по одному или, в лучшем случае, нескольким критериям качества. Увеличение сложности проекта и числа ограничений приводит к тому, что часть соединений не удается реализовать в виде трасс.

Решение данной проблемы состоит в совершенствовании топологических методов трассировки, которые теоретически позволяют оптимизировать топологию по заданным критериям качества за приемлемое время, но практически являются труднореализуемыми. Трудность реализации заключается в том, что чем больше гибкость модели, тем меньше она фиксирует метрических ограничений и тем труднее учесть все конструкторско-технологические требования [1].

Поэтому разработка математических моделей коммутационного пространства, позволяющих описывать не только топологическую ситуацию на рабочем поле, но и его метрические параметры, является *актуальной* задачей.

*Целью* данного исследования является существенное улучшение качества топологии и уменьшение времени ее проектирования путем использования топологической модели коммутационного поля, позволяющей уменьшить длину трасс и количество переходных отверстий.

## 2. Анализ последних достижений в области автоматизации проектирования печатных модулей

В настоящее время на рынке САПР имеются программные продукты, позволяющие реализовать сквозной цикл проектирования и изготовления электронных модулей или выполнить отдельные проектные операции (например, размещение компонентов схемы и трассировку связей [2,3]).

Общепринятыми критериями качества трассировщика являются процент неразведенных трасс, количество переходных отверстий, суммарная длина проводников и время трассировки.

Указанные характеристики зависят от используемых моделей и алгоритмов. Так, системы, в которых реализованы модификации классического волнового алгоритма, позволяют найти путь для трассы, если он существует. Однако проложенные проводники становятся непреодолимым препятствием для последующих соединений. Это приводит к увеличению суммарной длины трасс и количества переходных отверстий.

Канальная трассировка применима для проектов с регулярным размещением однотипных элементов.

Перечисленные выше методы называют «прямыми», так как в них используются геометрические характеристики элементов топологии и предполагается жесткая фиксация трасс.

Наиболее перспективными являются топологические методы, позволяющие определить допустимое пространственное расположение отдельных фрагментов печатных соединений без фиксации их точного месторасположения при заданных ограничениях на количество пересечений и слоев. Затем полученный эскиз преобразуется в геометрическую модель. Топологические методы позволяют в процессе трассировки анализировать будущие свойства топологии, контролировать эффективность загрузки коммутационного поля, выбирать решение из нескольких вариантов. Однако при этом могут возникнуть трудности, связанные с формированием геометрической модели, когда найденное топологическое решение не может быть реализовано без нарушения технологических норм. Устранить указанный недостаток можно путем совмещения этапов топологической и геометрической трассировки.

## 3. Постановка задачи трассировки межсоединений

Задача трассировки формулируется следующим образом. На коммутационном поле (печатной плате, кристалле) заданы своими координатами  $(x, y)$  конструктивные элементы  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_T\}$ . Выводы этих элементов образуют некоторое множество из  $L$  связанных подмножеств:  $E = \{C_1, C_2, \dots, C_L\}$ , причем каждое  $\ell$  – е подмножество  $C_\ell$  объединяет  $N_\ell$  выводов конструктивных элементов из множества  $R$  в соответ-

ствии с принципиальной электрической схемой. Кроме того, заданы расположение групп контактных площадок внешних соединителей и монтажных отверстий, а также требования, предъявляемые к топологии: минимальная ширина проводников и величина зазора между ними, размеры контактных площадок, количество слоев металлизации, способы перехода с одного слоя на другой и т.п. Требуется с учетом заданных конструктивно-технологических ограничений соединить выводы конструктивных элементов внутри каждого подмножества  $C_\ell \in E$  так, чтобы полученные соединения отвечали выбранному показателю качества. При оптимизации топологии печатного монтажа, как правило, используют следующие критерии качества:

- минимум суммарной длины всех соединений;
- минимум числа пересечений проводников;
- равномерность распределения проводников на коммутационном поле;
- минимальная область трассировки;
- минимальная протяженность параллельных участков соседних проводников;
- минимум числа изгибов проводников;
- минимум числа слоев металлизации и количества переходов из слоя в слой.

Все перечисленные критерии являются противоречивыми, поэтому для оценки качества трассировки применяют доминирующий критерий. При этом используют аддитивную или мультипликативную форму оценочной функции, например:

$$F = \sum_p \lambda_i f_i,$$

где  $F$  – аддитивный критерий;  $\lambda_i$  – весовой коэффициент;  $f_i$  – частный критерий;  $p$  – число частных критериев.

## 4. Дискретная топологическая модель печатной платы

Коммутационное поле печатной платы с размещенными в нем компонентами представим в виде совокупности макродискретов с помощью линий, представляющих собой продолжение границ установочных мест элементов.

Каждый макродискрет представляет собой канал для трассировки и описывается совокупностью координат его левого нижнего угла  $(X_k, Y_k)$  и размеров  $(A_k, B_k)$ , заданных в виде кортежа

$$\langle X_k, Y_k, A_k, B_k \rangle.$$

Обозначим через  $Z$  целую часть числа, полученного путем деления  $D/N_B$ , и  $R$  – остаток по  $\text{mod } N_B$  от числа  $D$ , т.е.  $Z = [D/N_B]$ ;  $R = D \text{ mod } N_B$ , где  $D$  – номер дискрета;  $N_B$  – количество вертикальных рядов на коммутационном поле.

Тогда координаты левого нижнего угла  $D_k$  – го дискрета некоторого слоя платы

$$X_k = \begin{cases} X_{i_1}, & \text{если } R \neq 0, \\ X_{i(q-1)}, & \text{если } R = 0; \end{cases}$$

$$Y_k = \begin{cases} Y_{j(z+1)}, & \text{если } R \neq 0, \\ Y_{j_z}, & \text{если } R = 0. \end{cases}$$

Для реализации функции поиска пути на этапе макротрассировки сформулируем правила определения номеров дискретов, смежных на некотором слое. Любой дискрет, не принадлежащий крайнему вертикальному или горизонтальному ряду слоя, имеет ровно четыре смежных дискрета, номера которых определяются в соответствии с соотношениями

$$D_{\text{л}} = \begin{cases} 0, & \text{если } R = 1; \\ D-1, & \text{если } R \neq 1; \end{cases} \quad D_{\text{п}} = \begin{cases} 0, & \text{если } R = 0; \\ D+1, & \text{если } R \neq 0; \end{cases}$$

$$D_{\text{н}} = \begin{cases} 0, & \text{если } (D - N_{\text{в}}) \leq 0; \\ D - N_{\text{в}}, & \text{если } (D - N_{\text{в}}) > 0; \end{cases}$$

$$D_{\text{в}} = \begin{cases} 0, & \text{если } (D + N_{\text{в}}) > N; \\ D + N_{\text{в}}, & \text{если } (D + N_{\text{в}}) \leq N. \end{cases}$$

Здесь  $D_{\text{л}}, D_{\text{п}}$  – номера левого и правого смежных дискретов;  $D_{\text{н}}, D_{\text{в}}$  – номера нижнего и верхнего соседа.

В данной модели печатной платы каждое установочное место представляется совокупностью дискретов. Поэтому в процессе трассировки необходимо иметь информацию о номерах дискретов, принадлежащих  $i$ -му установочному месту.  $D_k$  – й дискрет рабочего поля принадлежит  $i$ -му установочному месту в том случае, если выполняются следующие соотношения:

$$X_i \leq X_k < (X_i + A_i); \quad Y_i \leq Y_k < (Y_i + B_i).$$

Каждый дискрет отображается совокупностью четырех упорядоченных подмножеств  $L_{\alpha_j}$  ( $j = \overline{1,4}$ ) и двух двумерных массивов  $L_{\alpha_5}$ ,  $L_{\alpha_6}$ , причем

$$|L_{\alpha_1}| = |L_{\alpha_2}| = \rho_1; \quad |L_{\alpha_3}| = |L_{\alpha_4}| = \rho_2,$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  – пропускные способности каналов в горизонтальном и вертикальном направлениях.

В подмножествах  $L_{\alpha_1}, L_{\alpha_2}, L_{\alpha_3}, L_{\alpha_4}$  будем записывать номера трасс, проходящих соответственно через левую, правую, нижнюю и верхнюю стороны дискрета. Между магистралями дискрета  $D_{\alpha}$  и позициями подмножеств  $L_{\alpha_j}$  зададим взаимно-однозначное соответствие  $M_k(D_{\alpha}) \Rightarrow P_k(L_{\alpha_j})$ , где  $M_k(D_{\alpha})$  –  $k$ -я магистраль дискрета  $D_{\alpha}$ ;  $P_k(L_{\alpha_j})$  –  $k$ -я позиция подмножества  $L_{\alpha_j}$ .

Двумерные массивы  $L_{\alpha_5}$  и  $L_{\alpha_6}$  организованы следующим образом: вертикальные магистрали дискрета  $D_{\alpha}$  взаимно-однозначно соответствуют номерам столбцов массива  $L_{\alpha_5}$ ; горизонтальные магистрали дискрета  $D_{\alpha}$  взаимно-однозначно соответствуют строкам массива  $L_{\alpha_6}$ . В массивах  $L_{\alpha_5}$  и  $L_{\alpha_6}$  содержится информация о точках изломов трасс соответственно в вертикальном и горизонтальном направлении. К примеру, если некоторая трасса  $N_i$  первоначально располагалась на  $h_1$ -й горизонтальной магистрали канала, а затем на  $h_2$ -й вертикальной магистрали делает излом, то в  $h_2$ -м столбце первой строки массива  $L_{\alpha_5}$  записывается ее номер ( $N_i$ ), номер этой же трассы записывают в  $h_1$ -ю строку первого столбца массива  $L_{\alpha_6}$ . Информация о других изломах трасс на этих магистралях для массива  $L_{\alpha_5}$  записывается во вторую, третью ... строки  $h_2$ -го столбца, для массива  $L_{\alpha_6}$  – во второй, третий ... столбец  $h_1$ -й строки.

На рис. 1 отображено состояние некоторого дискрета  $D_{\alpha}$  в процессе топологической трассировки.

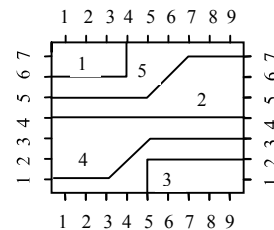


Рис. 1

Ситуация в этом дискрете однозначно описывается подмножествами  $L_{\alpha_j}$  и двумерными массивами  $L_{\alpha_5}$ ,  $L_{\alpha_6}$ :

$$L_{\alpha_1} = \left\langle \begin{matrix} 4 & 0 & 0 & 2 & 5 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \right\rangle;$$

$$L_{\alpha_2} = \left\langle \begin{matrix} 0 & 3 & 4 & 2 & 0 & 0 & 5 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \right\rangle;$$

$$L_{\alpha_3} = \left\langle \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{matrix} \right\rangle;$$

$$L_{\alpha_4} = \left\langle \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{matrix} \right\rangle;$$

$$L_{\alpha_5} = \left\langle \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 1 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{matrix} \right\rangle;$$

$$L_{\alpha_6} = \left\langle \begin{matrix} 1 & 4 \\ 2 & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & 0 \\ 5 & 5 \\ 6 & 1 \\ 7 & 5 \end{matrix} \right\rangle.$$

Для реализации топологической трассировки будем анализировать не только подмножества  $L_{\alpha_j}$ , но и массивы  $L_{\alpha_5}, L_{\alpha_6}$ .

Построение геометрии трассы может осуществляться с использованием ортогональных или диагональных сегментов. Длину ортогональных участков будем определять в соответствии с выражением

$$r(a, b) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|,$$

где  $x_1, y_1$  – координаты точки  $a$ ;  $x_2, y_2$  – координаты точки  $b$ .

Длину сегментов, расположенных под углом, вычислим по формуле:  $r(a, b) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$ .

Причиной конфликтных ситуаций, возникающих на этапе микротрассировки, являются изломы трасс, расположенных в макродискрете. При топологической трассировке трассы могут иметь однократный либо двукратный излом, выполненный ортогонально или под углом. Однократный излом возникает в следующих случаях:

- трасса расположена на левой стороне дискрета, затем закрепляется за некоторой магистралью на верхней стороне дискрета (такой тип излома назовем «слева–вверх»);
- трасса расположена на левой стороне дискрета, затем закрепляется за некоторой магистралью на нижней стороне дискрета («слева–вниз»).

Можно убедиться в том, что существуют и другие типы изломов: «сверху–влево», «сверху–вправо», «справа–вверх», «справа–вниз», «снизу–вправо», «снизу–влево».

Двукратный излом трассы возникает в следующих случаях:

- трасса расположена на левой стороне дискрета и закрепляется за магистралью  $h_1$ , а на правой стороне закрепляется за магистралью  $h_2$  и при этом справедливо соотношение  $h_1 \neq h_2$ ;
- трасса расположена на верхней стороне дискрета на магистрали  $h_3$ , а на нижней стороне закрепляется за магистралью  $h_4$  и при этом истинно следующее неравенство  $h_3 \neq h_4$ .

При геометрической трассировке могут возникать конфликты между трассами, имеющими однократный излом; между трассой, имеющей однократный излом, и трассой с двукратным изломом; между трассами, имеющими двукратный излом.

Между трассами с однократным изломом конфликт возникает в таких случаях:

- одна трасса имеет излом типа «слева–вниз», вторая – типа «сверху–вправо» либо одна трасса имеет излом типа «слева–вверх», а вторая – излом типа «снизу – вправо».

На рис.2, а представлена первая конфликтная ситуация. Она обусловлена тем, что в массивах  $L_{\alpha_5}$  и  $L_{\alpha_6}$  точка излома типа «сверху–вправо» расположена левее точки излома типа «слева–вниз».

Рассматриваемую ситуацию для одномерных массивов  $L_{\alpha_5}$  и  $L_{\alpha_6}$  будет однозначно задавать предикат

$$P\left\{\left(L_{\alpha_5}\left(\tilde{N}_2 < \tilde{N}_1\right)\right) \wedge \left(L_{\alpha_6}\left(\tilde{N}_2 < \tilde{N}_1\right)\right)\right\},$$

где  $L_{\alpha_5}\left(\tilde{N}_2 < \tilde{N}_1\right)$  – условная запись ситуации, для которой характерно то, что магистраль, на которой размещена трасса  $N_2$  в подмножестве  $L_{\alpha_5}$ , меньше магистрали, на которой размещена трасса  $N_1$ .

Как видно из рис.2, б, конфликт исчезает, если проложить пересекающиеся фрагменты трасс под углом. При этом должны быть справедливы соотношения:

$$\begin{aligned} &L_{\alpha_5}\left(\tilde{N}_{1,4} > \tilde{N}_{2,3}\right); L_{\alpha_5}\left(\tilde{N}_{2,4} > \tilde{N}_{1,3}\right); \\ &L_{\alpha_6}\left(\tilde{N}_{1,2} > \tilde{N}_{2,1}\right); L_{\alpha_6}\left(\tilde{N}_{2,2} > \tilde{N}_{1,1}\right). \end{aligned} \quad (1)$$

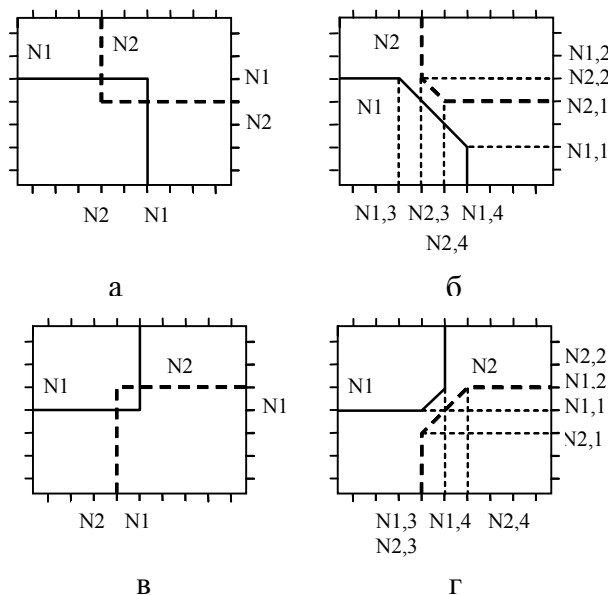


Рис. 2

Разрешение данной конфликтной ситуации осуществляется путем изменения конфигурации трасс и формирования точек перегибов в массивах  $L_{\alpha_5}$  и  $L_{\alpha_6}$  таким образом, чтобы был истинным предикат

$$P\left\{\left(L_{\alpha_5}\left(\tilde{N}_{1,4} > \tilde{N}_{2,3}\right)\right) \wedge \left(L_{\alpha_5}\left(\tilde{N}_{2,4} > \tilde{N}_{1,3}\right)\right) \wedge \left(L_{\alpha_6}\left(\tilde{N}_{1,2} > \tilde{N}_{2,1}\right)\right) \wedge \left(L_{\alpha_6}\left(\tilde{N}_{2,2} > \tilde{N}_{1,1}\right)\right)\right\}, \quad (2)$$

где  $\tilde{N}_{1,1}, \tilde{N}_{1,2}$  – номера горизонтальных магистралей, на которых находятся точки излома первой трассы;  $\tilde{N}_{1,3}, \tilde{N}_{1,4}$  – номера вертикальных магистралей, на которых находятся точки излома первой трассы;  $\tilde{N}_{2,1}, \tilde{N}_{2,2}$  – номера горизонтальных магистралей, на которых находятся точки излома второй трассы;  $\tilde{N}_{2,3}, \tilde{N}_{2,4}$  – номера вертикальных магистралей, на которых находятся точки излома второй трассы.

Вторая конфликтная ситуация рассматриваемой группы изображена на рис. 2, в. Она описывается предикатом  $P\{(L_{\alpha_5}(\tilde{N}_2 < \tilde{N}_1)) \wedge (L_{\alpha_6}(\tilde{N}_1 < \tilde{N}_2))\}$ .

Нетрудно заметить, что конфликт исчезает, если изменить конфигурацию пересекающихся фрагментов трасс так, как показано на рис. 2, г. Как и в предыдущем случае, истинным должен быть предикат (2).

К конфликтным ситуациям могут приводить также пересечения трасс, имеющих однократный излом, с трассами, имеющими двукратный излом. Возможные такие ситуации приведены на рис. 3. Рассмотрим каждую из них.

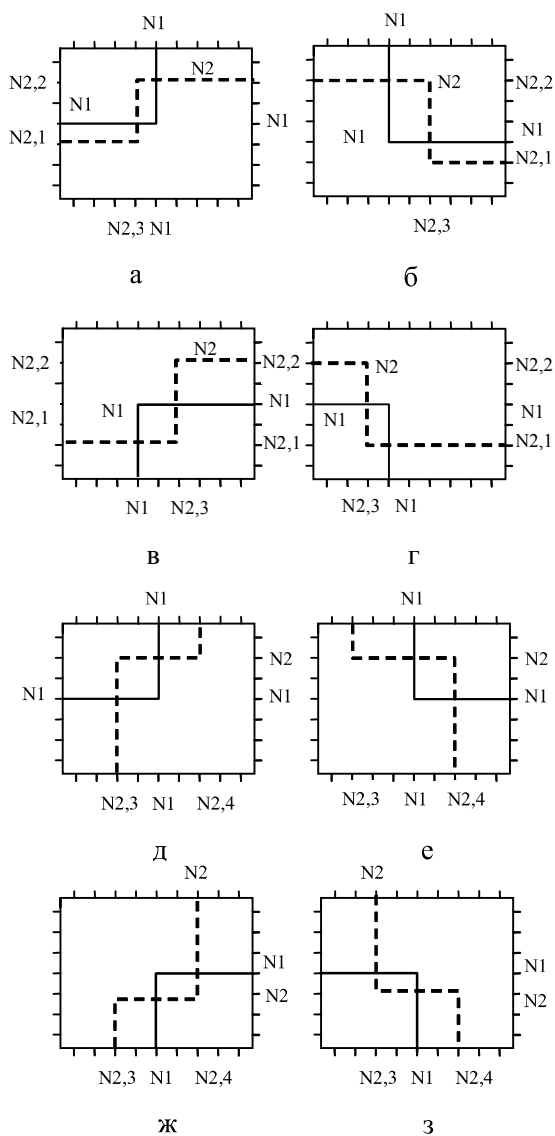


Рис. 3

Пересечение трасс, изображенное на рис. 3, а, описывается соотношением

$$P\{(L_{\alpha_5}(\tilde{N}_{2,3} < \tilde{N}_1)) \wedge (L_{\alpha_6}(\tilde{N}_1 \leq \tilde{N}_{2,2}))\}.$$

Для ситуации, представленной на рис. 3, б, характерно следующее:

$$P\{(L_{\alpha_5}(\tilde{N}_1 < \tilde{N}_{2,3})) \wedge (L_{\alpha_6}(\tilde{N}_1 \leq \tilde{N}_{2,2}))\}.$$

Конфликт, показанный на рис. 3, в, имеет место, если выполняется соотношение

$$P\{(L_{\alpha_5}(\tilde{N}_1 < \tilde{N}_{2,3})) \wedge (L_{\alpha_6}(\tilde{N}_1 \geq \tilde{N}_{2,1}))\}.$$

Остальные конфликтные ситуации описываются соответственно такими предикатами:

$$P\{(L_{\alpha_5}(\tilde{N}_{2,3} < \tilde{N}_1)) \wedge (L_{\alpha_6}(\tilde{N}_1 \geq \tilde{N}_{2,1}))\},$$

(см. рис. 3, г);

$$P\{(L_{\alpha_5}(\tilde{N}_{2,3} \leq \tilde{N}_1)) \wedge (L_{\alpha_6}(\tilde{N}_2 > \tilde{N}_1))\},$$

(см. рис. 3, д);

$$P\{(L_{\alpha_5}(\tilde{N}_{2,4} \leq \tilde{N}_1)) \wedge (L_{\alpha_6}(\tilde{N}_2 > \tilde{N}_1))\},$$

(см. рис. 3, е);

$$P\{(L_{\alpha_5}(\tilde{N}_{2,4} \geq \tilde{N}_1)) \wedge (L_{\alpha_6}(\tilde{N}_2 < \tilde{N}_1))\},$$

(см. рис. 3, ж);

$$P\{(L_{\alpha_5}(\tilde{N}_{2,3} \leq \tilde{N}_1)) \wedge (L_{\alpha_6}(\tilde{N}_2 < \tilde{N}_1))\},$$

(см. рис. 3, з).

Рассмотренные пересечения устраняются путем изменения конфигурации трасс так, как показано на рис. 4. При этом должен быть истинным предикат (2).

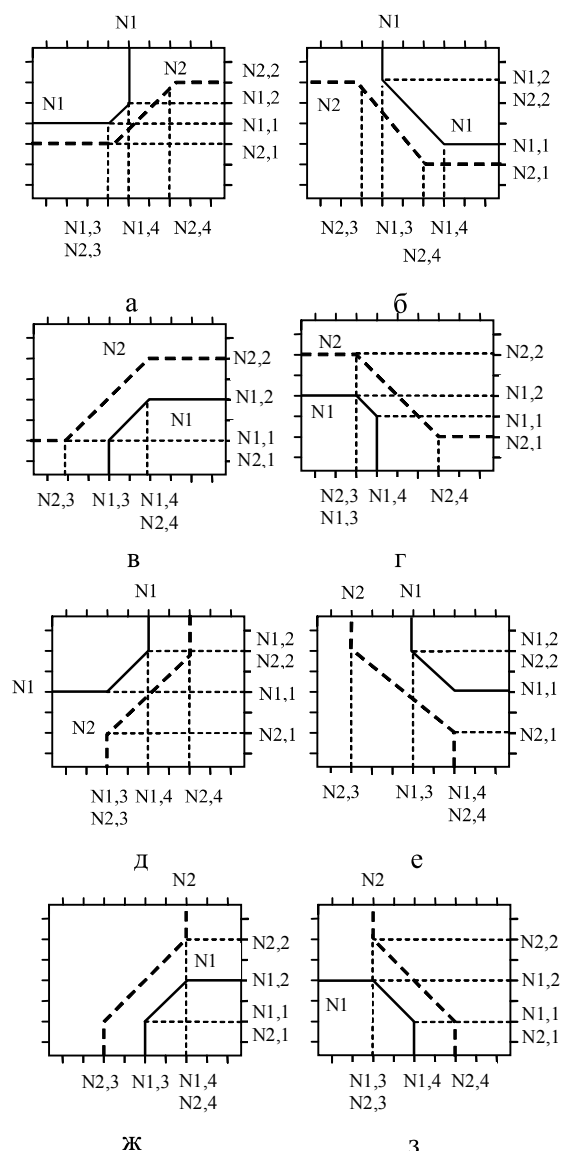


Рис. 4

К конфликтам при трассировке могут также приводить пересечения двух и более трасс, имеющих двойной излом. На рис.5 показаны такие ситуации.

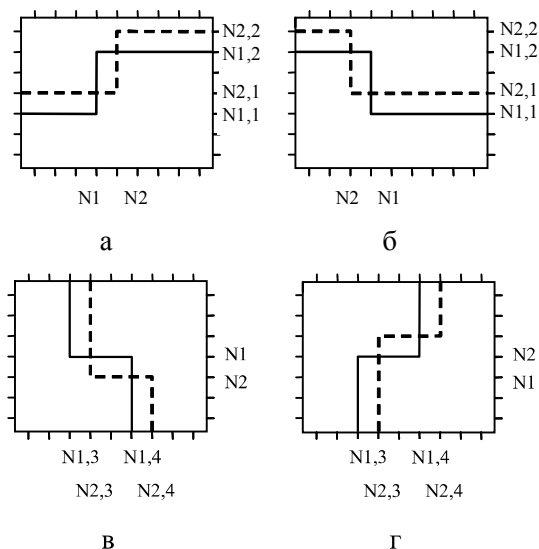


Рис. 5

Каждая из них описывается соответствующим предикатом:

$$P\left\{\left(L_{\alpha_5}\left(\tilde{N}_1 < \tilde{N}_2\right)\right) \wedge \left(L_{\alpha_6}\left(\tilde{N}_{2,1} < \tilde{N}_{1,2} < \tilde{N}_{2,2}\right)\right)\right\},$$

(см. рис.5,а);

$$P\left\{\left(L_{\alpha_5}\left(\tilde{N}_2 < \tilde{N}_1\right)\right) \wedge \left(L_{\alpha_6}\left(\tilde{N}_{2,1} < \tilde{N}_{1,2} < \tilde{N}_{2,2}\right)\right)\right\},$$

(см. рис.5,б);

$$P\left\{\left(L_{\alpha_5}\left(\tilde{N}_{2,3} < \tilde{N}_{1,4} < \tilde{N}_{2,4}\right)\right) \wedge \left(L_{\alpha_6}\left(\tilde{N}_1 > \tilde{N}_2\right)\right)\right\},$$

(см. рис.5,в);

$$P\left\{\left(L_{\alpha_5}\left(\tilde{N}_{2,3} < \tilde{N}_{1,4} < \tilde{N}_{2,4}\right)\right) \wedge \left(L_{\alpha_6}\left(\tilde{N}_1 < \tilde{N}_2\right)\right)\right\},$$

(см. рис.5,г).

Так же, как и в предыдущих случаях, конфликты разрешаются путем формирования отдельных участков трасс, проходящих под углом (рис.6). Это позволяет установить истинность соотношения (2).

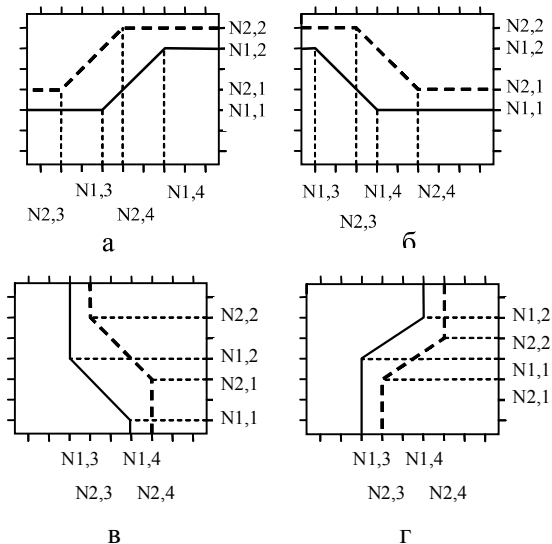


Рис. 6

Таким образом, для устранения пересечений трасс всех рассмотренных выше типов и реализации диагональной микротрассировки используется единственное соотношение (2), что позволяет уменьшить время построения геометрической модели.

Экспериментальные исследования автотрассировщика, в котором реализована описанная выше модель, показывают, что данный подход является более предпочтительным по сравнению с распространенной в настоящее время Shape-based трассировкой. Так, время поиска решения и количество переходных отверстий в первом случае в 2-3 раза меньше, чем при Shape-based трассировке (рис. 7, 8). Это объясняется тем, что при использовании топологического подхода не требуются оптимизирующие итерации, так как в процессе построения трассы учитываются все заданные ограничения.

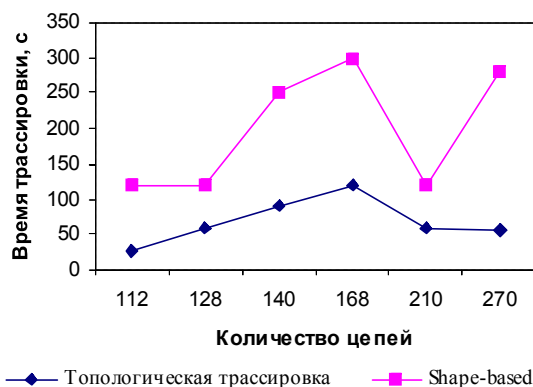


Рис. 7

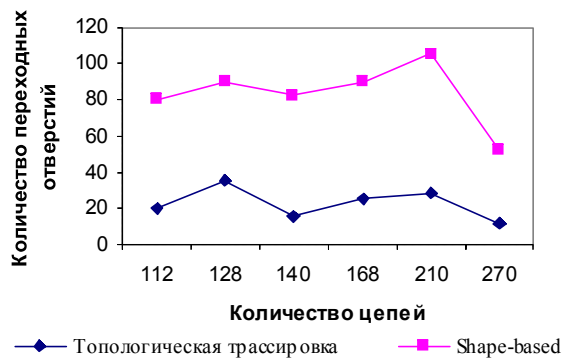


Рис. 8

## 5. Выводы

Научная новизна работы заключается в том, что усовершенствована дискретная топологическая модель печатной платы, предложены новые условия обнаружения и устранения конфликтных ситуаций в макродискрете, позволяющие уменьшить длину трасс и количество переходных отверстий, улучшить качество топологического рисунка. Возможность одновременного выполнения топологической и геометрической трассировки позволяет увеличить процент реализованных соединений и уменьшить время построения топологического рисунка.

*Практическая значимость* работы заключается в разработке алгоритма параллельной макро- и микро-трассировки, основанного на предложенной модели, а также программного средства, предназначенного для трассировки соединений печатных плат и позволяющего в несколько раз сократить время проектирования топологии.

**Литература:** 1. Лузин С.Ю., Полубасов О.Б. Топологическая трассировка: реальность или миф? // EDA Expert. 2002. № 5. С. 42-46 2. Сухарев А.В., Золотов А.И. Модели и процедуры оптимизации в автоматизации проектирования. (Программный комплекс FreeStyle Router). Учеб. пособие. СПб.: СЗТУ, 2001. 165 с. 3. Хигстон Д., Логхид Ф., Ирвин Р. Новый топологический автоотрашивщик // Chip News. 2002. № 2. С. 60-64

УДК004.4'24

## **СРАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВ РАЗРАБОТКИ И ОТЛАДКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ**

ОСТРОВСКИЙ К.В.

Предлагаются результаты сравнительного анализа средств разработки и отладки программного обеспечения для различных типов микроконтроллеров. Для анализа берутся программные пакеты для всех наиболее распространенных семейств микроконтроллеров.

### **Введение**

Интегрированная среда разработки (Integrated Development Environment – IDE) – совокупность программных средств поддерживает все этапы разработки программного обеспечения – от написания исходного текста программы до ее компиляции и отладки, и обеспечивает простое и быстрое взаимодействие с другими инструментальными средствами.

В настоящее время существует большое количество программных комплексов разработки и отладки устройств на основе восьмиразрядных микроконтроллеров, таких как: AVR Studio, MPLAB IDE, MAX-IDE, UMPS, PDS-PIC, GPSim, SigSim и другие. Современный уровень развития микроконтроллеров и устройств на их основе обуславливает необходимость отслеживать все изменения в семействах микроконтроллеров и программном обеспечении для них, что в свою очередь влечет за собой необходимость знания большого количества языков программирования, особенностей управления встроенной периферией и использования различных средств разработки и отладки.

Данная работа представляет собой результаты сравнения средств разработки и отладки программного обеспечения для различных типов микроконтроллеров. Результаты сравнения показывают, программные пакеты каких фирм и разработчиков наиболее достойны внимания как для начинающих, так и для опытных программистов.

РИ, 2007, № 2

Поступила в редколлегию 24.04.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Кривуля Г.Ф.

**Литвинова Евгения Ивановна**, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и автоматизации производства РЭС и ЭВС ХНУРЭ. Научные интересы: алгоритмизация задач автоматизированного проектирования электронных вычислительных средств, проектирование автоматизированных информационных систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 7-021-486.

**Гаркушин Сергей Викторович**, студент факультета компьютерной инженерии и управления ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизированное проектирование электронных вычислительных средств. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 7-021-486.

### **1. AVR Studio**

Для программирования AVR-микроконтроллеров существует немало средств разработки, однако наиболее популярным следует признать пакет AVR Studio. Причиной такой популярности является то, что пакет бесплатный и включает в себя все необходимые средства для разработки и отладки программного обеспечения для AVR.

AVR Studio – профессиональная интегрированная среда разработки, предназначенная для написания и отладки прикладных программ для AVR микроконтроллеров в среде Windows 98/NT/2000/XP. AVR Studio 4 содержит менеджер проектов, ассемблер, текстовый редактор и симулятор. Также AVR Studio поддерживает все внутрисхемные эмуляторы фирмы Atmel, отладочные стенды (платы) и все AVR устройства. AVR Studio поддерживает COFF, как формат выходных данных для символьной отладки, а также форматы UBROF6, UBROF8 и HEX. Другие программные средства третьих фирм также могут быть сконфигурированы для работы с AVR Studio.

Пользователь может выполнять программу полностью в пошаговом режиме, трассируя блоки функций или выполняя программу до места, где стоит курсор. В дополнение можно определять неограниченное число точек останова, каждая из которых может быть включена или выключена. Точки останова сохраняются между сессиями работы.

Пакет AVR Studio содержит мощные средства для просмотра и редактирования состояния внутренних элементов отлаживаемого микроконтроллера:

- 1) значения и адреса переменных;
- 2) хронологию программы, выполняемой в настоящее время;
- 3) содержимое регистров, которое можно изменять во время остановки программы;
- 4) содержимое памяти программ, данных, портов ввода/вывода и энергонезависимого ПЗУ, причем память можно просматривать в HEX, двоичном или десятичном формате (содержимое памяти можно изменять во время остановки программы);