

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ТРАССИРОВКИ ПЕЧАТНЫХ ПРОВОДОВ НА БОЛЬШИХ ПЛАТАХ

В.А. Тюренков

(Новосибирск)

Рассматривается задача трассировки печатных проводов на многослойных нормализованных типовых платах, содержащих несколько тысяч контактов. Плата может иметь несколько внешних контактных полей. Контакты внешних полей могут быть как индивидуализированными, так и неиндивидуализированными^{х)} в таблице соединений. Задача решается итерационным методом.

Плате поставим в соответствие некоторый граф. Для этого отметим на заготовке платы места, в которых могут быть расположены контакты. Независимо друг от друга проведем все пути, которыми эти контакты могут быть соединены. Назовем *вершинами* соединяющего пути его концы и точки возможных "разветвлений" этого пути. *Вершинами* графа платы объявим вершины соединяющих путей. *Ребрами*

х) В таблице соединений для внешнего контакта могут указываться:

- а) номер контакта;
- б) только номер контактного поля, которому принадлежит контакт.

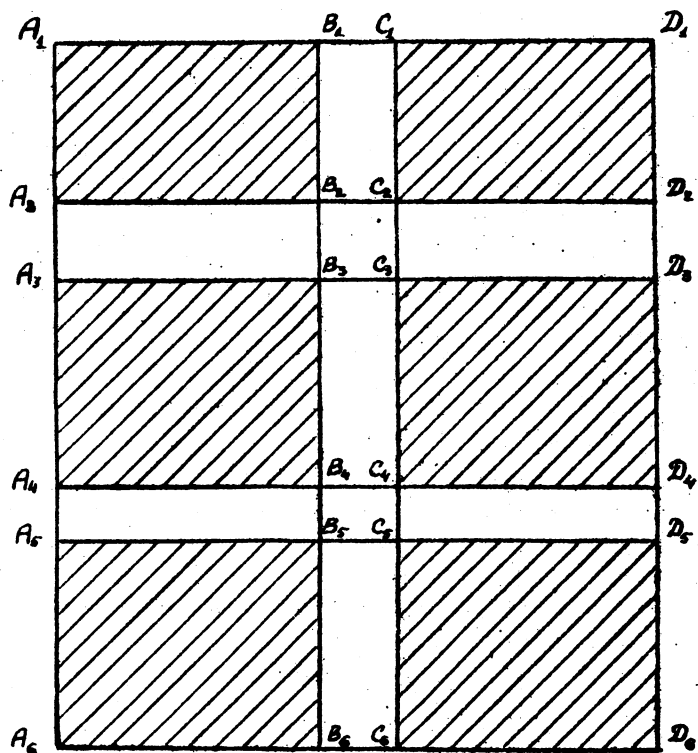
В случае (а) контакт называется индивидуализированным, в случае (б) — неиндивидуализированным в таблице соединений.

графа платы будем называть всякий элементарный путь, который соединяет две вершины соединяющего пути, является его частью и не содержит внутри себя других вершин этого соединяющего пути. Плату мы называем н о р м а л и з о в а н н о й, если граф платы конечен. В дальнейшем будем предполагать, что рассматриваемая плата является нормализованной.

При предлагаемом методе плата условно разрезается вертикальными и горизонтальными плоскостями, перпендикулярными слоям платы и не проходящими через вершины графа платы, на перекрывающиеся между собой многослойные "ячейки", размеры которых выбираются так, чтобы вся необходимая информация, относящаяся к каждой отдельной ячейке, целиком умещалась в оперативной памяти. Перекрытия ячеек нужны для того, чтобы согласовать между собой трассировку проводов на смежных ячейках. Неперекрывающиеся части ячеек называются я д р а м и, перекрывающиеся — п о л я м и. Минимальные части платы, на которые плата делится разрезающими плоскостями, называются м и к р о я ч е й к а м и. Каждая угловая ячейка платы состоит из 4-х микроячеек, крайняя неугловая — из 6-ти и некрайняя — из 9-ти микроячеек. На рисунке изображена плата, разрезанная на 6 перекрывающихся ячеек. На этом рисунке B_1B_6 и C_1C_6 — следы разрезающих вертикальных плоскостей, A_2D_2 , A_3D_3 , A_4D_4 и A_5D_5 — следы разрезающих горизонтальных плоскостей, $A_1C_1A_3A_3$, $B_1D_1D_3B_3$, $A_2C_2C_5A_5$ и т.д. — ячейки; заштрихованы ядра ячеек.

Г р а ф о м я ч е й к и будем называть частичный подграф платы, порожденный множеством ребер, у которых хотя бы один конец лежит внутри ячейки. Ребра, у которых один конец лежит внутри ячейки, а другой — вне ячейки, назовем г р а - н и ч н ы м и ребрами ячейки. Графы ячеек задаются позиционным способом, т.е. каждому ребру графа отводятся определенные разряды в памяти ЭВМ. В этих разрядах записывается информация о том, является ли соответствующее ребро использованным для соединительных цепей, не использованным и запрещенным для использования или свободным. Граф с помеченными таким образом ребрами будем называть ч е р т е ж о м ячейки.

Г р а ф о м с о е д и н е н и й будем называть частичный подграф платы, порожденный множеством ребер, использованных для соединительных цепей. Компоненты связности графа соединений типовой платы — это контакты и, возможно, некоторые заранее размещенные проводники (например, шины питания и



Плата, состоящая из шести перекрывающихся
ячеек.

земли). Заметим, что множество всех компонент графа соединений, которые должны быть соединены одним проводом, в дальнейшем называется п у ч к о м.

После предварительного анализа на каждой ячейке закрепляется один или несколько подходов (ребер) к каждому контакту, расположенному на ячейке. (При трассировке каждого многоконцевого проводника, соединяющего компоненты некоторого пучка, запрещается использовать точки, принадлежащие подходам к контактам еще не соединенных пучков; если при трассировке многоконцевого проводника будет использовано какое-либо другое ребро в качестве подхода к контакту, то при последующих итерациях в качестве подхода закрепляется это последнее, а неиспользованный подход считается свободным).

Составляется таблица компонент связности графа соединений типовой платы. В этой таблице каждой компоненте соответствует столько строчек, в скольких микроячейках содержатся точки этой компоненты. Каждая строчка содержит такую информацию:

- 1) номер микроячейки,
- 2) координата одной из точек данной компоненты в данной микроячейке, x)
- 3) номер компоненты,
- 4) перечень подходов к компоненте (если компонента является контактом).

Чертежи ячеек и таблица компонент связности являются постоянными для типовой платы (т.е. не меняются от задачи к задаче) и должны быть заготовлены заранее. Для каждой задачи должна вводиться лишь таблица соединений и таблица цоколевки модулей.

После ввода начальной информации чертежи ячеек преобразуются в соответствии с принятой цоколевкой модулей. Затем преобразуется введенная таблица соединений: каждая строчка этой таблицы, содержащая информацию об одной компоненте, заменяется совокупностью строчек (по числу микроячеек, содержащих соответствующую компоненту). Составляется таблица граничных условий. Таблица граничных условий содержит информацию о всех граничных ребрах ячеек. При этом различаются такие случаи:

х) Разбиение платы на ячейки должно быть таким, чтобы теоретико-множественное пересечение каждой компоненты графа соединений типовой платы с микроячейкой было связано.

а) ребро и обе его вершины не принадлежат графу соединений;

б) ребро принадлежит графу соединений; в этом случае в информации о ребре должны быть указаны номер пучка, номер компоненты связности, которым принадлежит ребро, и перечень подходов к внутреннему (по отношению к ячейке) концу ребра;

в) ребро не принадлежит графу соединений, но хотя бы один из концов этого ребра принадлежит графу соединений, в этом случае для каждого конца, принадлежащего графу соединений, должны быть указаны номер пучка и номер компоненты связности, которым принадлежит этот конец.

Присваиваются некоторые начальные значения коэффициентам K_{ij} , где индекс i пробегает множество номеров всех пучков, а j множество номеров всех ячеек. Эти коэффициенты определяют порядок построения соединений. Начальные значения коэффициентов K_{ij} выбираются так, чтобы в первую очередь выполнялись более короткие соединения (в процессе решения задачи эти коэффициенты корректируются: если после трассировки проводов длина некоторых из них оказывается больше допустимой, то коэффициенты изменяются таким образом, чтобы провода, оказавшиеся слишком длинными, при повторной трассировке размещались бы раньше).

После того, как подготовлены описанным выше образом чертежи ячеек, таблица соединения, таблица граничных условий и коэффициенты K_{ij} , начинает работать собственно алгоритм трассировки. Опишем сначала упрощенный вариант этого алгоритма.

Считая все оловянные платы совмещенными, строим на компонентах выбранного пучка прямоугольную сетку путем проведения вертикальных и горизонтальных линий через контакты пучка, через вершины углов, образованных размещенными проводами пучка, и через края полей внешних неиндивидуализированных контактов пучка. Используя алгоритм Прима [1], на построенной сетке условно строим минимальный граф, соединяющий "навесным" монтажом все компоненты пучка. Для каждой ячейки неиндивидуализированными контактами выбранного пучка объявляем стороны ячейки, пересекающиеся с условным соединяющим графом. Аналогичную процедуру проделываем с каждым пучком (при этом одна и та же сторона может оказаться неиндивидуализированным контактом нескольких пучков). Так установленные неиндивидуализированные контакты обеспечат при трассировке проводов печатные соединения меж-

ду различными ячейками и с внешними контактами.

Выбирая ячейки в некотором фиксированном порядке, производим на них трассировку печатных проводов, соединяющих внутренние компоненты ячейки между собой и с граничными ребрами. При этом некоторые неиндивидуализированные контакты будут индивидуализированы. Если после трассировки на всех ячейках некоторые из ячеек еще содержат неиндивидуализированные контакты, то продолжаем трассировку, выбирая теперь ячейки в противоположном порядке. Продолжаем в том же духе, пока останутся неиндивидуализированные контакты.

Для каждой ячейки трассировка выполняется следующим образом. Поля ячейки очищаются от размещенных ранее элементарных проводов (элементарным проводом называется часть провода, соответствующая одному ребру графа соединений), оба конца которых лежат на полях ячейки. Затем, используя полученный чертеж, таблицу соединений для платы, таблицу граничных условий и таблицу неиндивидуализированных контактов, составляется таблица соединений для ячейки. В эту таблицу включаются внутренние компоненты данной ячейки, граничные ребра, принадлежащие компонентам, и неиндивидуализированные контакты, причем каждый неиндивидуализированный контакт здесь понимается не как сторона ячейки, а как совокупность свободных граничных ребер, пересекающихся с этой стороной, или как совокупность внешних контактов. Выбирая пучки в порядке убывания соответствующих коэффициентов, последовательно выполняем трассировку проводников для каждого из них. Если длина какого-либо размещаемого провода оказывается больше допустимой, то уменьшаем соответствующий коэффициент, удаляем все только что размещенные (на ячейке) провода и вновь повторяем трассировку, причем теперь "длинный" провод будет размещен раньше. После окончания трассировки на данной ячейке стираем в таблице неиндивидуализированных контактов подсоединенные неиндивидуализированные контакты и подправляем таблицу граничных условий для ячеек, соседних с данной. Наконец, вносим изменения в таблицу соединений для платы, отождествляя в этой таблице номера соединенных компонент.

Соединение компонент пучка на ячейке выполняется так. Считая все слои ячейки совмещенными, строим на компонентах выбранного пучка прямоугольную сетку. На построенной сетке условно строим минимальный граф, соединяющий "навесным" монтажом все компоненты пучка, расположенные на данной ячейке. За-

тём компоненты пучка соединяются печатными проводами при помощи волнового алгоритма [2]. При этом для сокращения перебора и уменьшения машинного времени волна распространяется не по всей ячейке, а по "коридору" с поперечным сечением D (параметр алгоритма), который строится вокруг ветви условного графа, соединяющей навесным монтажом те компоненты, которые надо соединить печатным проводом. Если окажется, что в построенном коридоре нельзя соединить выбранные компоненты печатным монтажом, то коридор разрушается, и волна распространяется по всей ячейке; при надлежащем выборе величины D такие случаи будут встречаться редко.

В процессе выполнения трассировки проводов приходится удалять с полей ячеек ранее построенные провода. Не исключена возможность, что часть из них не удастся затем восстановить из-за насыщенности монтажа. Поэтому после выполнения всех возможных соединений на плате могут оказаться ненужные "обрывки" проводов, и тогда таблица соединений, в которую вносилась информация о выполненных соединениях, будет содержать информацию, не вполне соответствующую действительности. Просматривая одну за другой все ячейки платы и ликвидируя на каждой из них обрывки, концы которых расположены в ячейках, затем снова просматривая все ячейки платы и ликвидируя на них обрывки, после нескольких таких просмотров приходим к такому положению, когда на плате больше не останется обрывков проводов. После этого при очередном просмотре всех ячеек составляем истинную таблицу соединений.

Наконец, надо проверить, не является ли суммарная длина некоторых из размещенных проводов больше допустимой для платы. Если такие провода окажутся, то надо уменьшить для всех ячеек соответствующие этим проводам коэффициенты и вновь повторить всю трассировку, но уже при другом порядке размещения проводов.

Рабочий вариант алгоритма имеет следующие отличия от упрощенного. Во-первых, каждый отдельный провод первоначально размещается в нескольких вариантах; в процессе дальнейшего построения остается один вариант, который в совокупности с другими проводами дает более оптимальную трассировку. Во-вторых, соединение компонент на ячейке происходит не после построения всего условного соединяющего графа, а после построения каждого отдельного фрагмента этого графа. В-третьих, построение соединений на плате выполняется в три приема: сначала выполняет-

ся индивидуализированный монтаж внутри ячеек, затем межячеечный монтаж и, наконец, выполняются соединения с неиндивидуализированными внешними контактами. В-четвертых, при межячеечном и внешнем монтаже в каждой ячейке соединяются сначала индивидуализированные компоненты и лишь затем происходит подсоединение неиндивидуализированных контактов этой ячейки. Последние два отличия вызваны тем соображением, что при неиндивидуализированном монтаже имеется больше возможных вариантов выполнения соединений, чем при индивидуализированном.

Л и т е р а т у р а

1. Р.К. Прим. Кратчайшие связывающие сети и некоторые обобщения. — Кибернетический сборник, ИЛ, 1961 г., вып. 2, стр. 95-107.
2. В.А. Тиренков. Некоторые алгоритмы построения кратчайшей цепи. — Кибернетика, Киев, 1967 г.