

УДК 681.32

А. В. Бессонов, К. А. Кноп, Ю. Т. Лячек
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Назначение межслойных переходов в области BGA-компонента

Предложена методика назначения сквозных межслойных переходов в области BGA-компонента при наличии в той же области «мешающих» двухполюсников, позволяющая учитывать реальные размеры переходов и минимизировать длину участков проводников от контакта до соответствующих переходов. Методика используется в САПР TороR.

Трассировка, печатная плата, BGA-компонент, паросочетание

В САПР TороR на этапе оптимизации положение межслойных переходов на проводнике не фиксируется. Отсутствие фиксации положения перехода и фиксации слоя проводника между парой переходов или между переходом и сквозным контактом позволяет лучше использовать ресурсы монтажного пространства, однако в ряде случаев приводит к появлению «узких» мест из-за недоучета реальных размеров межслойных переходов (МП). В области BGA-компонентов крайне нежелательно удлинять участок проводника от контакта до перехода, поскольку это может заблокировать подход к его соседним контактам. При трассировке таких областей в САПР TороR разработана специальная процедура, расставляющая в области BGA-компонента межслойные переходы и назначающая на них цепи контактов BGA-компонента и двухполюсников, расположенных в области BGA-компонента [1].

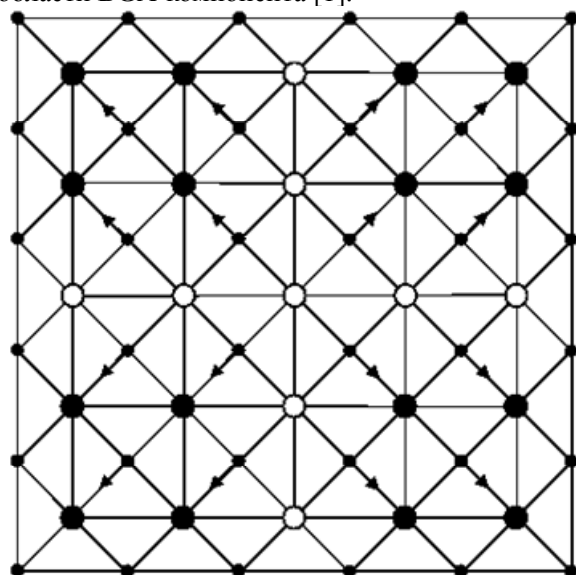


Рис. 1

На рис. 1 показан компонент BGA в топологической модели коммутационного пространства печатной платы. Маленькими кружками (жирными точками) обозначены контакты компонента BGA, которые можно рассматривать в качестве вершин разбиения платы, а большими кружками – вершины, представляющие центры ячеек для расположения возможных межслойных переходов. Каждая ячейка занимает область, расположенную между четырьмя соседними контактами. Каждый задействованный контакт (кроме контактов, расположенных по периметру) связан с центром своей ячейки. Если кружок в центре ячейки не закрашен, это означает, что данная ячейка не связана ни с одним контактом. Стрелками показано первоначальное назначение ячеек контактам при условии, что все ячейки доступны.

Таким образом, до назначения ячейка является «свободной» и может рассматриваться по отношению к контакту как «своя», «чужая» или «несвязанная». После назначения ячейка оказывается «назначенной» и по отношению к контакту может принадлежать или «своей цепи», или «чужой цепи».

При трассировке области BGA в «ячейках» между контактами расставляются межслойные переходы и каждому сигналу (каждому задействованному контакту) назначается свой межслойный переход. Обычно ячеек даже больше, чем необходимо. Однако если переходы сквозные и в области BGA на противоположной стороне платы расположены двухполюсники (конденсаторы, резисторы, индуктивности), контакты которых препятствуют размещению переходов в ячейках, то такие ячейки следует исключить из рассмотрения,

так как их нельзя использовать. В результате может оказаться, что свободных ячеек будет меньше, чем необходимо для разводки всех цепей.

Для возможности разводки максимального числа цепей в области BGA можно применить следующий подход:

1. Построить двудольный граф, в котором вершины одной доли соответствуют множеству свободных ячеек, а другой – множеству неподключенных контактов. После этого вершины, соответствующие неподключенным контактам, соединяются с вершинами, соответствующими свободным ячейкам, если существует путь от контакта к ячейке.

2. Найти наибольшее паросочетание [2] в этом графе.

Однако при таком подходе возможны проблемы: либо некоторые контакты не будут назначены ячейкам для установки МП, либо не будет обеспечена 100 %-я разводка, либо переходы будут установлены с технологическими нарушениями.

Следует отметить, что для цепей земли/питания возможно назначение нескольких соседних контактов на один переход (ограничение должно задаваться пользователем). Однако такая экономия ячеек (МП) не всегда помогает.

Для разрешения конфликта возможны 2 пути: уменьшение числа контактов-претендентов и увеличение числа доступных ячеек.

Уменьшение числа контактов-претендентов. Для этого соседние контакты цепей земли/питания на каждом из внешних слоев можно объединить в кластеры и построить дерево, доставляющее связность контактов кластера. Тем самым значительно снизится число необходимых переходов (для подключения кластера достаточно разместить один переход в непосредственной близости от любого контакта кластера или пары кластеров, если они находятся на разных слоях).

Соответственно, при решении задачи о назначениях в двудольном графе каждый кластер представлен только одной вершиной, ячейка считается достижимой, если существует путь из любой вершины кластера.

Если после назначения остались свободные ячейки, их можно использовать для уменьшения размеров кластеров (подключить контакт, лучше диаметральный по отношению к уже имеющемуся переходу, и удалить циклические ребра таким образом, чтобы 2 новых кластера имели мини-

мальный диаметр или примерно равное число контактов). По-видимому, важнее уменьшать размеры кластеров контактов BGA, чем двухполюсников на противоположной стороне.

Если число неподключенных контактов превышает число свободных ячеек, следует выдать соответствующее сообщение, в котором указать координаты заблокированных контактов.

Увеличение числа доступных ячеек. В ряде случаев межслойный переход не может быть размещен без нарушений точно в центре ячейки, однако нарушения могут быть устранены при некотором его смещении. (Устранять нарушения можно и при перемещении двухполюсников, однако рассмотрение этого выходит за рамки настоящей статьи.)

Кроме того, можно пожертвовать строгостью ограничений на зазоры между объектами одной цепи, т. е. разрешить уменьшение (вплоть до 0) зазора между переходом и контактом, принадлежащим той же цепи. Если после решения задачи о назначениях останутся свободные ячейки, их можно использовать для уменьшения числа мест с уменьшенным зазором.

Поиск места для размещения межслойного перехода в ячейке.

Постановка задачи. Имеется прямоугольная ячейка BGA-компонента, внутри которой должен быть размещен межслойный переход. Если на другом слое платы не размещены никакие компоненты, то МП гарантированно можно ставить в центре ячейки, так как центр прямоугольника – точка, одинаково удаленная от всех его вершин. Однако наличие компонентов на других слоях может этому условию помешать. В связи с этим желательно рационально определить местоположение центра МП, не создающее помех для других компонентов.

Анализ задачи. Классификация случаев и сведение всех вариантов к одному. В зависимости от расположения компонентов на другом слое можно различать 3 случая. Первый случай (рис. 2, а) соответствует ситуации, когда на другом слое находится до четырех различных компонентов, каждый из которых перекрывает не более одного контакта данной BGA-ячейки (контуры компонентов показаны штрихами). Одна или несколько из таких «обобщенных» помех могут отсутствовать, – решение задачи для такого частного случая не будет отличаться от общего решения.

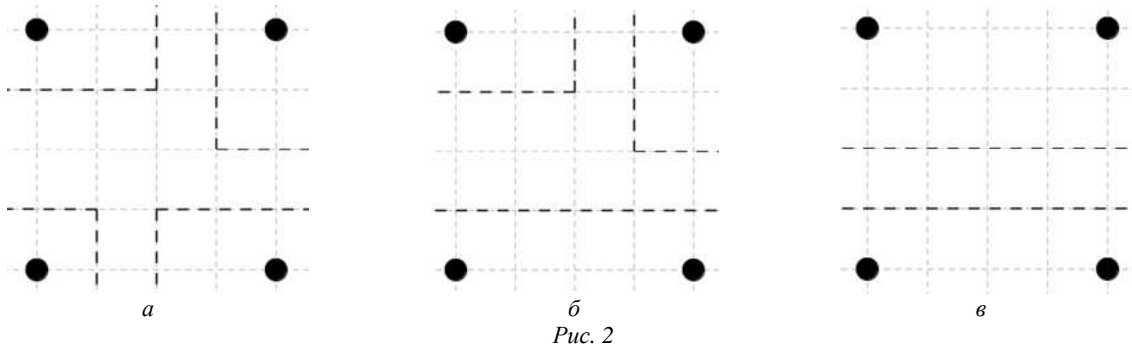


Рис. 2

Второй случай (рис. 2, б) – ситуация, когда на другом слое находятся 3 различные «обобщенные помехи», причем ровно один из компонентов перекрывает 2 соседних узла BGA-ячейки. На рисунке такими двумя узлами являются нижние. Разумеется, возможны варианты, соответствующие повороту этого рисунка на 90 или 180°.

Третий случай (рис. 2, в) – две «обобщенные помехи». При этом 2 компонента другого слоя перекрывают по 2 соседних узла BGA. На рисунке такими парами узлов являются пара нижних и пара верхних, но возможен и поворот этого рисунка на 90°. Отметим, что нижняя штриховая линия на рисунке определяет «помеху снизу», в то время как верхняя – «помеху сверху».

В дальнейшем остановимся на рассмотрении только первого случая, сводя к нему остальные следующим несложным приемом – на рис. 2, б отметим середину нижней помехи и от этой точки проведем границу вниз. Тем самым «прямая» протяженная помеха окажется разбитой на две «угловые». Аналогично на рис. 2, в так же поступают с обеими горизонтальными помехами.

Геометрический анализ. «Надувание» помех и стягивание окружности в точку. На рис. 3 показаны 2 изображения одной и той же ситуации. На левом изображении – две окружности, одна из которых (вокруг точки) имеет радиус R_1 , равный

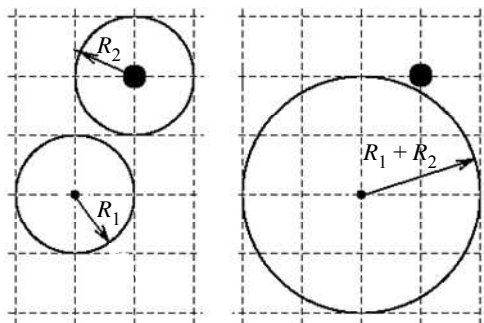


Рис. 3

минимальному технологическому зазору около контакта компонента BGA, а вторая (вокруг жирной точки) изображает искомый МП радиуса R_2 . Центр МП можно поместить в данной точке, если две эти окружности не пересекаются.

На правом изображении одновременно вторая окружность «стянута» в точку (ее радиус уменьшился до нуля), а первая – «надута» до радиуса $R_1 + R_2$. Центр МП можно поместить в данной (жирной) точке, если ее центр лежит вне проведенной окружности. Процедура «надувания» облегчает нахождение области допустимого положения центра МП, так как позволяет использовать для этого обобщенный параметр ($R_1 + R_2$) вместо двух, если применять данный прием одновременно для всех четырех вершин прямоугольной ячейки.

Процедура «надувания» для угловых границ помех очень похожа и в чем-то даже более проста: прямые, соответствующие «помехе слева», в результате надувания должны быть сдвинуты правее на расстояние R_2 , прямые для «помехи справа» сдвигаются на R_2 левее, аналогичные сдвиги делаются для помех сверху и снизу. Углы (точки) при этом становятся 90°-ми дугами окружностей.

Геометрический анализ. Перекрывает ли центр?

Дальнейшее решение зависит от того, окажется ли допустимым поместить центр МП в центре прямоугольника. Ответ на этот вопрос, разумеется, зависит не только от положения помех, но и от радиусов R_1, R_2 и длин сторон прямоугольника (BGA-ячейки). Если центр ячейки перекрывает «круглыми помехами» (т. е. круги, полученные надуванием до $R_1 + R_2$, содержат его внутри), то вся внутренняя область BGA-ячейки перекрывается и никакого МП в ней разместить нельзя.

Если это не так и «круглые» помехи не закрывают центр, то достаточно проверить, не закрывается ли он какой-то из «угловых» помех, т. е.

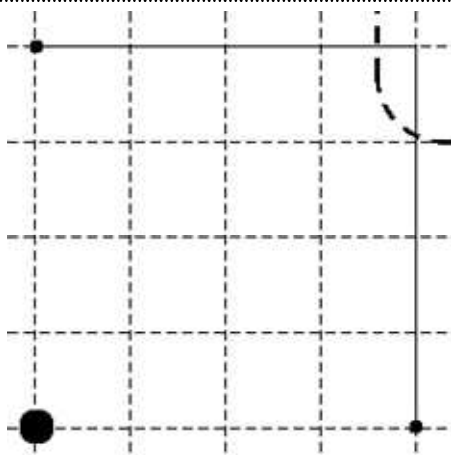


Рис. 4

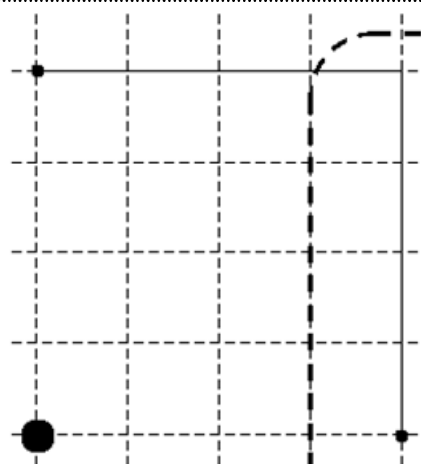


Рис. 5

необходимо сравнить координаты центра с координатами границ компонентов.

Центр не перекрыт «угловыми» помехами, если никакая из таких помех не содержит центра. Для выяснения этого факта достаточно сравнить координаты центра с уравнениями трех линий, задающих угловую помеху – горизонтальной, вертикальной и дуговой.

Решение. Общий подход. Как показано ранее, случаи 2 и 3 сводятся к случаю 1, когда около каждого угла рассматривается угловая помеха. После «надувания» такие помехи становятся скругленными прямоугольниками.

Решение задачи обеспечивается следующим способом:

- если центр ячейки не перекрыт, то именно он и выбирается в качестве центральной точки МП (ЦМП);

- если же центр перекрыт, то задача решается раздельно для каждого из четырех «квадрантов» ВГА-ячейки (один квадрант – это прямоугольная область с углом в центре ячейки, внутри которой находится ровно одна вершина ВГА-ячейки). В каждом квадранте находится ближайшая к центру свободная точка. Затем из всех (четырех) найденных таким образом точек (кандидатов в ЦМП или сокращенно КЦМП) выберем ближайшую к центру. Именно она и станет ЦМП.

Решение для левого нижнего квадранта. В левом нижнем квадранте имеется до пяти помех: «круглая» помеха левой нижней вершины и 4 угловые помехи (от разных вершин).

Если центр перекрыт угловой помехой от левой нижней вершины, то весь квадрант перекрыт ею и ни одной точки для ЦМП в данном квадранте нет. (В этом случае ЦМП надо искать только на других трех квадрантах.)

Если центр перекрыт угловой помехой от правой нижней вершины (рис. 4), то кандидатами

в «ближайшие к центру» точки будут точки штриховой линии.

Аналогично для центра, перекрытого помехой левой верхней вершины.

Теперь рассмотрим помеху правой верхней вершины (рис. 5). У нее есть 3 участка – горизонтальный, дуговой, вертикальный. Если эта помеха не пересекается с квадрантом, то алгоритм поиска КЦМП может не учитывать наличия этой помехи.

Случай 1. Поиск КЦМП без правой верхней помехи. Если две штриховые помехи от правой нижней и левой верхней вершин (одна горизонтальная со скруглением, а другая – вертикальная со скруглением) пересекаются, у них есть единственная точка пересечения, которая и будет на этом шаге рассматриваться как КЦМП. Если они не пересекаются, то множество точек КЦМП – либо отрезок (одной из штриховых линий), либо и отрезок, и дуга.

Далее надо проверить, как множество точек КЦМП пересекается с двумя помехами левого нижнего угла (угловой и круглой). Если это множество – точка и она закрыта хотя бы одной левой нижней помехой, то точек внутри квадранта НЕТ. Иначе данная точка остается КЦМП.

Если это множество – вертикальный отрезок и он закрыт левой нижней помехой, то точек внутри квадранта снова НЕТ. Если такой отрезок закрыт левой нижней помехой не до самого верха, то в качестве КЦМП берется верхняя точка этого отрезка. (Аналогично для горизонтальных отрезков берется самая правая точка.)

Случай 2. Поиск КЦМП с правой верхней помехой. Координаты горизонтального участка правой верхней помехи нужно сравнить с координатами горизонтальных участков правой нижней помехи (если такой участок есть) и левой верхней помехи (если такой участок есть).

Горизонтальный участок помехи остается в рассмотрении как КЦМП полностью, если он расположен ниже горизонтали, заданной левой верхней помехой и выше горизонтали правой нижней помехи.

В противном случае от этого участка остается отрезок, конец которого вычисляется по концам отрезков соответствующих помех.

Аналогичная процедура запускается для вертикального участка правой верхней помехи.

Координаты дугообразного участка правой верхней помехи последовательно сравниваются с горизонтальными, с вертикальными и с дугообразными участками двух рассматриваемых помех.

Каждый из оставшихся участков проверяется на пересечение с левыми нижними помехами (аналогично случаю 1).

В итоге в качестве КЦМП остается от 0 до 4 следующих точек:

– верхняя точка вертикального участка, если он остался;

– правая точка горизонтального участка, если он остался;

– концы дугообразного участка или того, что от него осталось – до двух точек.

Из этих точек следует выбрать ближайшую к центру ячейки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лузин С. Ю., Полубасов О. Б. САПР TopoR: трассировка печатных плат с BGA-компонентами // Современная электроника. 2008. № 7. С. 44–48.

2. Кристофидес Н. Теория графов. М.: Мир, 1978.

A. V. Bessonov, K. A. Knop, Yu. T. Lyachek
Saint-Petersburg state electro technical university «LETI»

PLACING VIAS IN THE FIELD BGA COMPONENT

The technique destination through vias in BGA-components when in the same area, but on the other side of the PCB, "the blocking" of the two contact devices. Method takes into account the actual size of the holes and minimizes the length of section of wire from the contacts to the corresponding transitions, and used in CAD "TopoR".

Tracing, PCB, BGA-component, the combination of pairs

УДК 004.9

Г. Д. Дик

Балтийская экспедиторская компания

А. Б. Дегтярев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Выбор ИТ-сервисов информационной системы с целью повышения эффективности функционирования транспортной логистической системы

Проведен анализ состояния современных информационных систем предприятия транспортной логистики с целью повышения эффективности ее функционирования. Предложены методы оптимизации выбора ИТ-сервисов на основе сервис-ориентированной архитектуры.

Транспортная логистическая система, ИТ-сервисы, информационные системы, ИТ-архитектура, многокритериальная задача, эффективность функционирования, COA

На сегодняшний день транспортная логистика – одна из самых перспективных и быстроразвивающихся областей современного бизнеса, и только

грамотный подход к обеспечению перевозок поможет игроку этого рынка не отстать безнадежно. Транспортная логистическая система (ТЛС),