

САПР ТороR: трассировка печатных плат с BGA-компонентами

Сергей Лузин, Олег Полубасов (Санкт-Петербург)

В очередной статье, посвящённой системе автоматизированного проектирования печатных плат ТороR, рассматриваются особенности разводки печатных плат с корпусами типа BGA.

Для большинства САПР трассировка проводников в области высокой плотности размещения контактов является сложной задачей. BGA-компонент на печатной плате – область высокой плотности размещения контактов, поэтому трассировка внутреннего пространства BGA-компонентов обычно осуществляется либо вручную, либо по шаблону. При этом главная цель заключается в том, чтобы вывести все трассы на периферию компонента, используя минимальное число слоёв. Задача существенно усложняется, если на противоположной стороне платы установлены конденсаторы развязки.

Причин, по которым необходим быстрый выход на периферию, несколько. Обычная последовательная трассировка с перекладкой не устраняет кратных пересечений проводников. В связи с этим могут появляться «лишние межслойные переходы», ещё больше увеличивая плотность размещения контактов. На рисунке 1 показан фрагмент реальной разводки с результатом работы Shape-based-трассировщика. Четыре межслойных перехода в центре – результат последовательной прокладки без анализа кратных пересечений проводников.

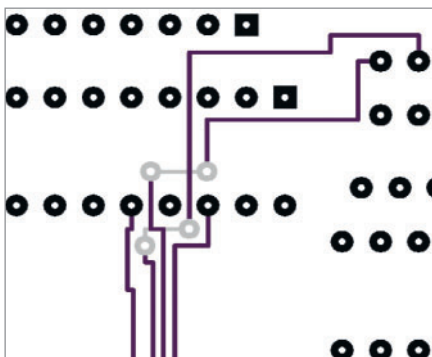


Рис. 1. «Лишние» межслойные переходы при кратных пересечениях проводников

Понятно, что «лишние межслойные переходы» в области BGA ведут к катастрофе, поскольку пространства едва хватает для размещения необходимых переходов.

Обычная последовательная трассировка с перекладкой может легко заблокировать контактные площадки в некоторой области на отдельном слое. Так, на показанном слое (см. рис. 2) из внутренней области выведено только четыре проводника вместо 28 возможных.

Наличие фанauta (от англ. fanout – переходное отверстие, соединённое с рядом стоящей планарной контактной площадкой) – гарантия разводки проводников (отсутствия блокировки) при достаточном числе слоёв, но не на отдельном слое.

Ситуация, изображённая на рисунке 2, может показаться наивной и даже искусственной, однако это не совсем так. Во избежание подобных ситуаций при автотрассировке, необходимы специальные меры, например, прогрессирующий штраф за увеличение длины проводника в зоне BGA, чтобы обеспечить быстрый выход на периферию. Однако подобная мера практически исключает возможность

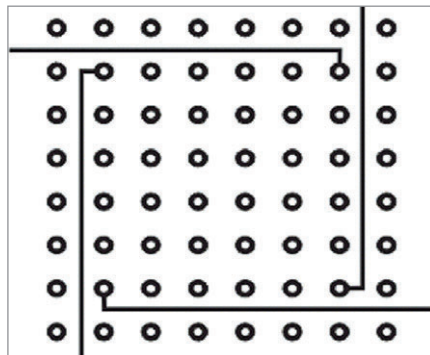


Рис. 2. Блокировка контактных площадок на слое

диагональной трассировки, которая, как будет показано ниже, значительно повышает эффективность трассировки области BGA-компонента.

Минимизация числа слоёв

Рассмотрим сначала случай, когда все межслойные переходы являются сквозными, т.е. контактные площадки присутствуют на всех слоях.

Если имеется n рядов по n контактных площадок, то число каналов на периферии матрицы равно $4(n - 1)$. Число внутренних контактных площадок составляет $(n - 2)^2$.

Определим максимальный размер матрицы, которую можно развести в одном слое. Необходимо, чтобы число свободных каналов было не меньше числа внутренних контактных площадок $4(n - 1) \leq (n - 2)^2$, откуда

$$n \leq 4 + \sqrt{8}.$$

Максимальное целое n , удовлетворяющее этому условию, равно 6. При n , равном 7, не хватает одного канала (каналов 24, а внутренних контактов – 25).

Минимальное число слоёв для разводки:

$$L = \frac{(n-2)^2}{4(n-1)} \approx \left\lceil \frac{n-1}{4} \right\rceil$$

($\lceil x \rceil$ – целое, не превосходящее x).

Однако это возможно при условии, что на каждом слое число доступных каналов остаётся $\lceil x \rceil$ постоянным.

Если осуществлять разводку цепей с внешнего периметра (от периферии матрицы к центру), то с каждым новым слоем число доступных каналов уменьшается на восемь. Соответственно, с увеличением числа слоёв, по мере продвижения к центру, число «недоразведённых цепей» быстро растёт (как сумма членов арифметической прогрессии). На первом слое выводятся цепи контактов внешнего и следующего за ним периметра. Начиная со второго слоя, выводятся цепи контактов одного очередного пе-

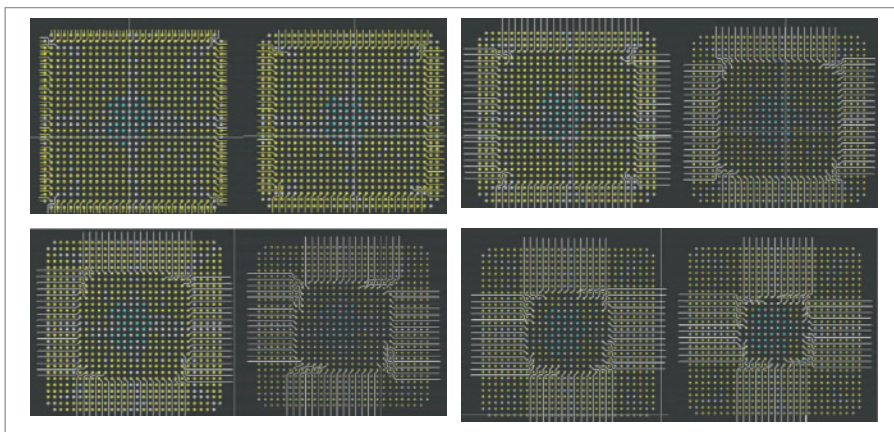


Рис. 3. Разводка корпуса BGA от периферии к центру

риметра плюс четыре внутренних цепи. Число слоёв для разводки:

$$L = \left\lceil \frac{n-1}{2} \right\rceil - \left\lfloor \sqrt{\frac{n-1}{2}} \right\rfloor.$$

Таким образом, при подобной стратегии потребуется почти в два раза больше слоёв, чем необходимо.

На рисунке 3 [1] представлены первые восемь слоёв разводки BGA (780 контактов) при стратегии от периферии матрицы к центру. Для завершения трассировки необходимы ещё три слоя (остаётся матрица 8×8 плюс четыре контакта).

На рисунке 4 представлен вариант разводки, обеспечивающий не уменьшение числа каналов трассировки на каждом слое: получается семь слоёв вместо одиннадцати.

Если цепь разведена на каком-либо слое при использовании «глухих»

межслойных переходов, то на последующих слоях контактная площадка отсутствует.

При разводке от периферии к центру снимается по два периметра контактных площадок на каждом слое плюс четыре «внутренние» контактные площадки. Число слоёв:

$$L \approx \left\lceil \frac{n}{4} \right\rceil.$$

При трассировке «от центра» получаем с каждым новым слоем увеличение числа каналов. Если шаг выводов составляет 1 мм, контактная площадка – 0,5 мм, проводник 0,15 мм, зазор 0,15 мм, то между парой контактов проходит 1 проводник. Если снят ряд контактных площадок, то в образовавшемся канале вместо одного проводника можно провести четыре. На каждом слое происходит расширение оче-

редных восьми каналов, в каждом из которых можно провести три дополнительных проводника. Таким образом, на втором трассировочном слое можно вывести на 24 проводника больше, чем на первом, на третьем – на 48 больше, на четвёртом – на 72, и т.д.

Для разводки всех цепей требуется порядка $n/10$ слоёв, т.е. в два с половиной раза меньше, чем при разводке от периферии к центру.

Как правило, значительное число контактов BGA-компонента подключены к слоям земли и питания через межслойные переходы, и эти соединения не требуется выводить на периферию. Зная число таких контактов, а также число незадействованных контактов, можно скорректировать оценку минимально необходимого числа слоёв.

Трудности формализации

Производители микросхем явно не озабочены тем, как облегчить жизнь программистам САПР. Зачастую контакты BGA-компонентов представляют собой не единую регулярную структуру (см. рис. 5), а некоторое множество различным образом расположенных частично регулярных структур (см. рис. 6), разнообразие которых достаточно велико.

Универсальную модель придумать сложно, а разрабатывать модели для каждого конструктивного исполнения – слишком трудоёмко. Именно поэтому разводка области BGA-ком-

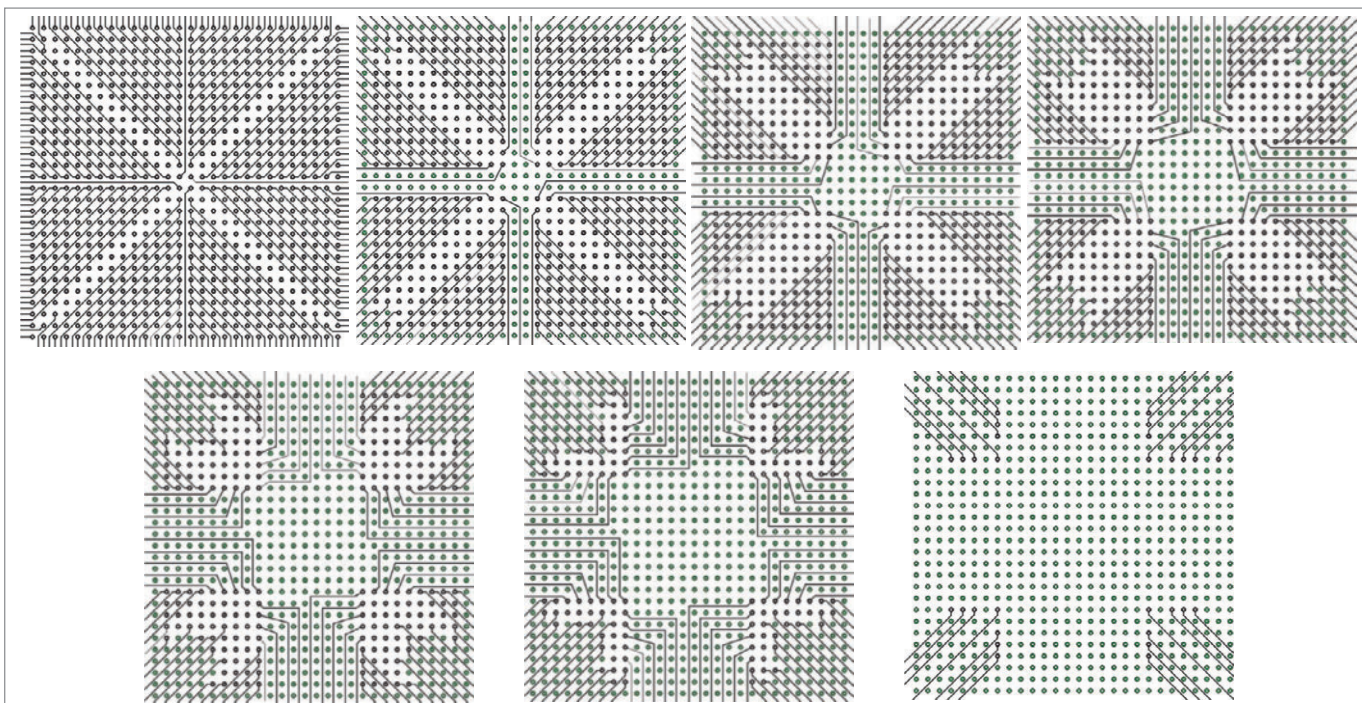


Рис. 4. Разводка корпуса BGA от центра к периферии

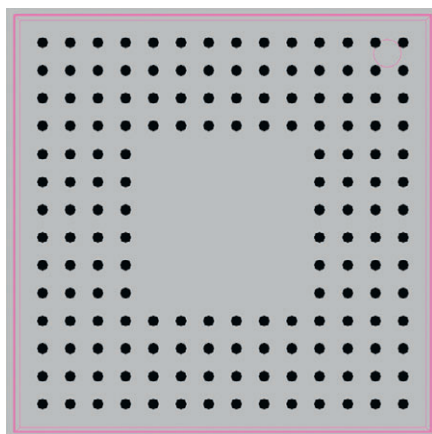


Рис. 5. Регулярное расположение контактов корпуса BGA

понентов обычно производится вручную, что затрудняет получение качественного результата. Причин тому несколько:

- выход на периферию по некоторому шаблону не учитывает реальных направлений трасс. Для отдельно взятого проводника шаблон может задавать направление, прямо противоположное требуемому. В итоге это может привести как к завышенной длине проводников, так и к завышенному числу межслойных переходов;
- наличие функционально эквивалентных контактов. Переназначение цепей на контакты с учётом требуемых направлений трасс и минимизации числа пересечений является задачей, слишком трудоёмкой для ручного проектирования при большом числе функционально эквивалентных контактов;
- наличие конденсаторов на противоположной стороне платы. Здесь существуют две проблемы: грамотное размещения двухполюсников с ми-

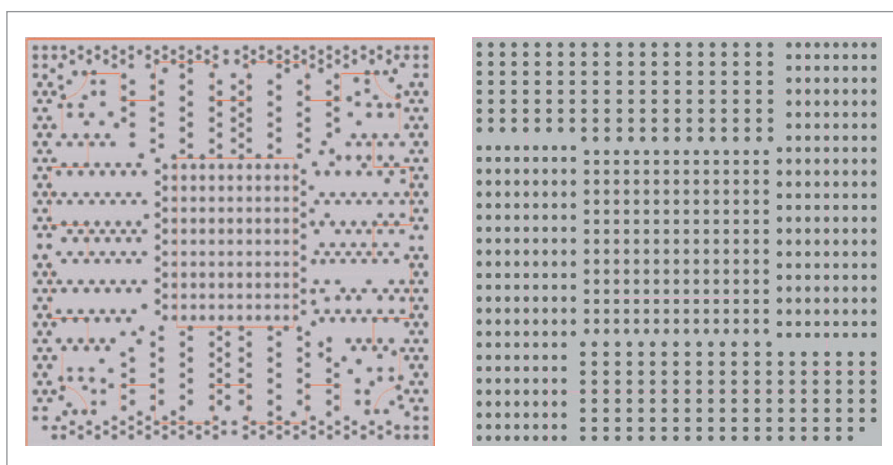


Рис. 6. Частично регулярное расположение контактов корпуса BGA

нимальной блокировкой возможных мест для расстановки межслойных переходов и грамотное назначение нескольких соединений на один переход в условиях дефицита места для их размещения.

Размещение конденсаторов определяется расположением контактов земли и питания. Простейший вариант – расположение контактов земли и питания в центре BGA (см. рис. 7). В этом случае упрощается и разводка, поскольку не требуется выводить на-

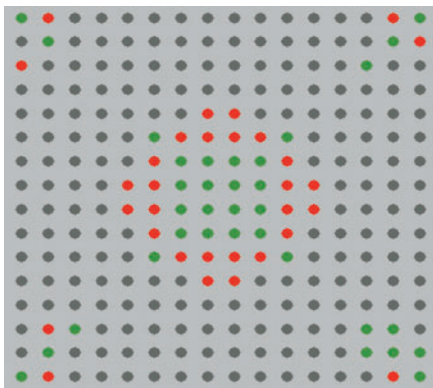


Рис. 7. Расположение контактов силовых цепей в центре корпуса BGA

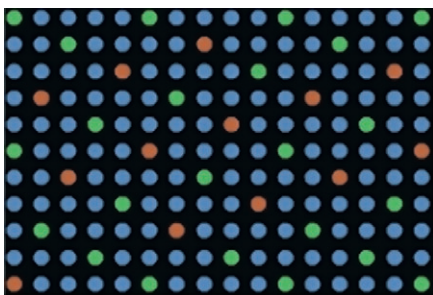


Рис. 8. Рассредоточенное расположение контактов питания и земли

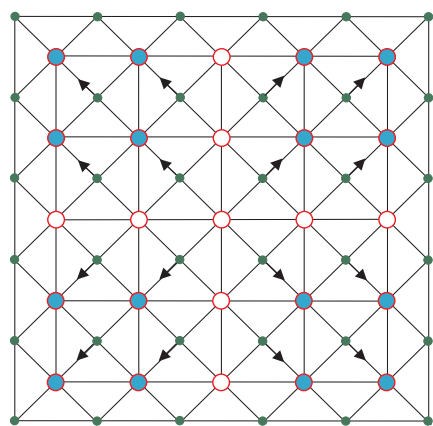


Рис. 9. Разводка области корпуса BGA в САПР ТороR

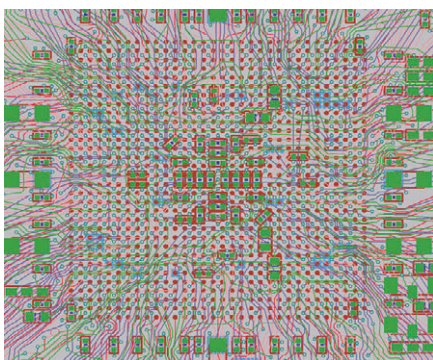


Рис. 10. Фрагмент разводки области корпуса BGA в САПР ТороR

ружу цепи от контактов центральной области.

Для обеспечения целостности сигналов следует располагать контакты земли и питания равномерно среди

сигнальных контактов, что и делает, например, компания Xilinx (см. рис. 8). Однако в этом случае значительно усложняется задача размещения конденсаторов.

ТРАССИРОВКА ПРОСТРАНСТВА BGA-КОМПОНЕНТОВ в САПР ТороR

Топологический трассировщик ТороR свободен от указанных выше недостатков обычных САПР. Он легко устраняет кратные пересечения проводников, не добавляя лишние межслойные переходы. Ему не требуется шаблон, чтобы не заблокировать контакты. Распределив соединения по слоям и распутав паутину пересекающихся проводников, он выведет трассу в нужном направлении, обеспечивая минимум суммарной длины соединений.

Однако на этапе оптимизации в САПР ТороR не фиксируется положение межслойных переходов на проводнике, а переход интерпретируется как участок проводника между двумя соседними пересечениями, или между пересечением и соседним контактом, или между двумя контактами, расположенными в разных слоях. Подобный подход позволяет лучше использовать ресурсы монтажного пространства, однако в ряде случаев приводит к появлению «узких» мест из-за недоучёта реальных размеров межслойных переходов. В области BGA-компонентов как раз крайне нежелательно удлинять участок проводника от контакта до перехода, поскольку это может заблокировать подход к соседним контактам, поэтому при трассировке таких областей в САПР ТороR используется специальная процедура.

Задача

Ставится задача развести все цепи компонента BGA, а также связанные с ним развязочные конденсаторы с минимумом нарушений конструктивно-технологических ограничений. При этом должны выполняться следующие требования:

- по возможности надо избегать перемычек между соседними контактами;
- желательно, чтобы у каждого контакта (кроме внешних рядов) был свой межслойный переход вместо подключения к переходам других контактов этой цепи;
- по возможности надо располагать межслойные переходы за корпусом компонента.

Модель

На рисунке 9 маленькими кружками обозначены вершины разбиения, представляющие контакты компонента BGA, большими кружками – вершины, представляющие ячейки для межслойных переходов (области между четырьмя соседними контактами). С каждым задействованным контактом (кроме контактов первого ряда) связана своя ячейка. Если кружок ячейки не закрашен, это означает, что ячейка несвязанная. Стрелками показано первоначальное назначение ячеек контактам при условии, что все ячейки доступны.

Таким образом, до назначения ячейка является «свободной» и может быть по отношению к контакту «своей», «чужой» и «несвязанной». После назначения ячейка оказывается «назначенной» и по отношению к контакту может быть «своей цепи» и «чужой цепи».

Трассировщик ТороR расставляет межслойные переходы в ячейки и осуществляет оптимальное назначение цепей на них. Специальным образом обрабатываются контакты BGA и развязочных конденсаторов, соединённых со слоями земли и питания. Знание точного положения и размеров межслойных переходов позволяет учесть их в процессе оптимизации и избежать появления большого количества «узких» мест. При этом сохраняются все преимущества топологической трассировки, включая сокращение суммарной длины и числа межслойных переходов.

На рисунке 10 показана разводка области BGA-компонента с 1020 контактами, выполненная в САПР ТороR. Между контактами проходит два проводника, поэтому на одном слое можно вывести $124 \times 2 = 248$ проводников. Число контактов во внутренней области $1020 - 120 = 900$. На корпусе BGA находится 257 незадействованных контактов и 198 контактов земли и питания, которые переходами соединены с областями металлизации на внутренних слоях. Таким образом, необходимо развести $900 - 455 = 545$ проводников. Двух слоёв недостаточно, однако трёх слоёв верхних и двух внутренних более чем достаточно.

Литература

1. Акулин А.И. Проектирование многослойных печатных плат высокой сложности. Материалы семинара. <http://www.pcbtech.ru/pcb/>.

