

Новый топологический автотрассировщик

Джейсон Хингстон, Фил Логхид, Роб Ирвин

В данной статье рассматриваются проблемы современных трассировщиков, связанные с развитием технологии упаковки компонентов и производства печатных плат, а также изложены основы топологического анализа, использованные в новом продукте компании Altium автотрассировщике Situs.

Введение

Трассировка проводников на печатных платах является сложной задачей, причем ее сложность меняется со временем по мере развития технологии. Время проектирования вручную больших или высокоплотных плат резко возрастает, что противоречит общей тенденции сокращения времени выхода конечного изделия на рынок. Решить проблему призваны специальные программы называемые автотрассировщиками, которые предназначены для размещения на плате проводников и переходных отверстий без участия человека. Как правило, такие платы управляются наборами правил проектирования, а их соблюдение, а также достижение 100% завершения процесса при хорошем качестве трассировки является сложной вычислительной задачей.

Современные сеточные и бессеточные трассировщики имеют ряд ограничений, связанных с геометрической основой методов трассировки, и эти ограничения сильно осложняют проектирование плат нерегулярной формы с компонентами со сложным расположением выводов. Результат работы таких автотрассировщиков требует обязательной ручной доработки проекта, что иногда ставит под сомнение выгоду от их использования.

Новый трассировщик Situs, разработанный компанией Altium, не имеет ограничений, присущих современным автотрассировщикам. Здесь используется оригинальная технология топологического анализа поверхности платы, которая не привязывается к форме и координатам препятствий и обеспечивает чрезвычайно гибкий механизм поиска оптимального пути трассировки.

Проблемы традиционных подходов к трассировке

Любое электронное оборудование представляет собой набор компонентов, все выводы которых соединены между собой соответствующим образом. Конструктивно это реализуется посредством размещения этих компонентов на многослойной механической структуре, называемой печатной платой (PCB). Электрические соединения реализуются с помощью участков меди различной формы, называемых проводниками или трассами, проложенных через всю плату от одного вывода к другому.

Задача прокладки проводников между всеми выводами может быть очень сложной. Типичные проекты печатных плат содержат тысячи проводников, проложенных между очень плотно размещенными компонентами.

Самые первые автотрассировщики накладывали на область проектирования регулярную сетку, причем каждый вывод компонента должен был вписан в узлы этой сетки. Сам процесс трассировки заключался в прокладывании проводников между выводами через свободные узлы сетки. Если учесть, что расстояния между выводами в те времена в самом худшем случае были не менее 0.1 дюйма (0.254 мм), то и задача эта решалась достаточно просто (рисунок 1).

С появлением технологии поверхностного монтажа расстояния между выводами стали значительно меньшими, кроме того, производители начали поставлять компоненты с метрическим шагом выводов. Технология производства печатных плат тоже не стояла на месте и позволила делать проводники более тонкими, а прокладывать их с меньшими зазорами. Все эти факторы постепенно сделали сеточные автотрассировщики неэффективными из-за необходимости резкого уменьшения шага сетки, что влекло за собой высокие требования к объемам используемой памяти и производительности процессора, не говоря уже об увеличении длительности процесса трассировки.

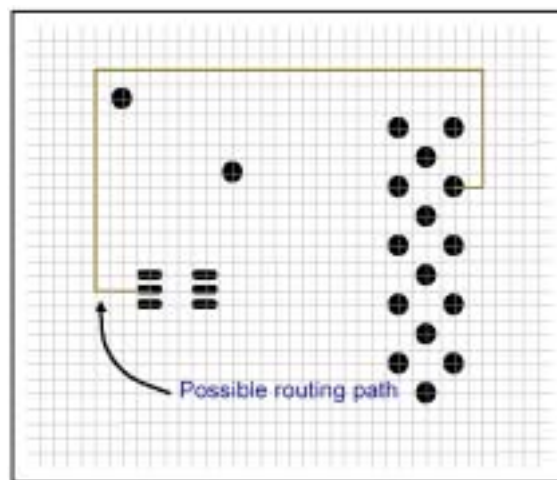


Рисунок 1. Результат работы обычного сеточного трассировщика.

Улучшить положение дел был призван метод прямоугольников, заключающийся в том, что свободное пространство между препятствиями на плате заполнялось последовательностью прямоугольников, а путь трассировки определялся последовательностью их касающихся сторон. Такая техника позволила решить проблему различного, причем нерегулярного, расстояния между выводами компонентов и позволила автотрассировщикам обрабатывать новые для того времени платы с поверхностным монтажом (рисунок 2). Метод этот уже можно было назвать бессеточным или основанным на формах (shape-based), так как канал трассировки был образован фигурами прямоугольной формы.

Трассировщики на основе метода прямоугольников снизили требования к вычислительной платформе по сравнению с сеточными, но они все еще имели естественные ограничения, связанные с геометрией. Дело в том, после разбиения платы на прямоугольники и запуска процесса, фронт волны трассировки мог распространяться только в двух направлениях: вертикальном или горизонтальном (согласно направлению сторон прямоугольников), что определяло ортогональный стиль трассировки. Проблемы начинались с введением на плату неортогональных объектов, например, повернутых на произвольный угол компонентов или компонентов с выводами, расположенными на зигзагообразной кривой. Часто в таких случаях ортогональный путь трассировки не мог быть найден, что выражалось в незавершенности процесса разводки платы.

Развитие технологии упаковки электронных компонентов повлекло за собой дальнейшее снижение шага между выводами. Были разработаны новые корпуса типа BGA (Ball Grid Array), имеющие зигзагообразное расположение выводов, что позволило значительно увеличить их число и плотность размещения. Новые дизайнерские решения требовали разработки плат нестандартной формы. Все это привело к появлению проблем и у бессеточных трассировщиков и дало толчок развитию новых инструментов.

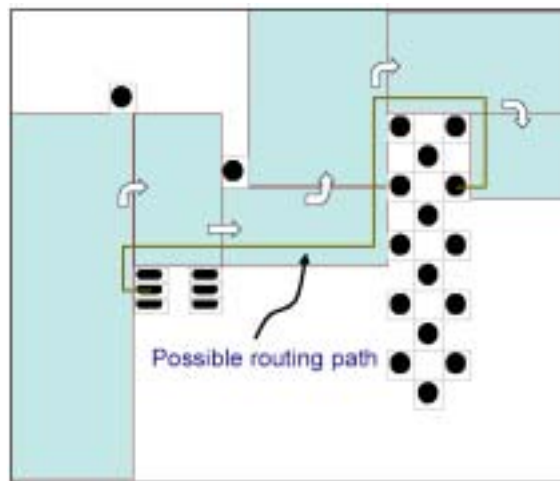


Рисунок 2. Поиск пути трассировки по методу прямоугольников.

Что такое топологический трассировщик?

Топологический подход к автотрассировке, реализованный в новом продукте компании Altium, использует различные методы разбиения поверхности платы на геометрические фигуры, что почти полностью снимает какие-либо связанные с этим ограничения. Причем во время работы топологический трассировщик оперирует относительными, а не абсолютными координатами препятствий в единой координатной сетке на плате.

Вся поверхность платы разбивается на треугольники, вершины которых образованы позициями ближайших препятствий, после чего запускается описанный выше алгоритм "плетения", который находит путь от начальной до конечной точки трассировки. Главное преимущество этого метода заключается в том, треугольники могут иметь произвольную форму и не имеют ограничений на величину углов, а значит, трассировка может вестись в произвольном направлении, а не только в вертикальном или горизонтальном, как это было при методе прямоугольников.

Чтобы построить топологическую карту платы трассировщик Situs, определяет связи всех соседних препятствий на плате, в результате получается нечто, похожее на паучью сеть. Потенциальный путь трассировки находится посредством последовательного перехода от одной ячейки сети к другой, пока не будет достигнута конечная точка. При таком подходе трасса не оказывается привязанной координатной сетке на плате, она как бы "вплетается" между двумя соседними препятствиями, как это показано на рисунке 3.

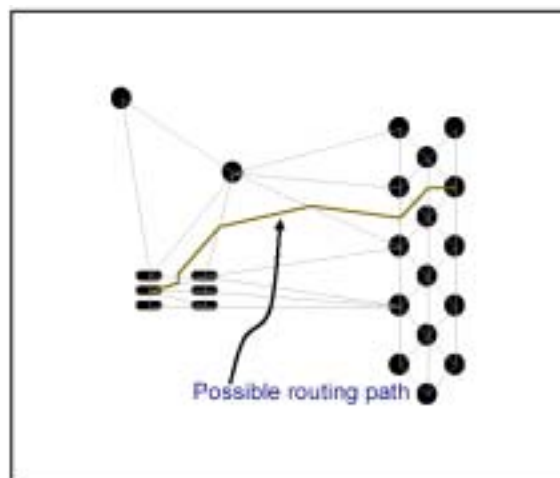


Рисунок 3. Поиск пути трассировки методом топологического анализа.

Таким образом, топологический трассировщик снимает главное фундаментальное ограничение, присущее всем известным ранее автотрассировщикам, вытекающее из того, что путь разводки так или иначе повторяет геометрию фигур разбиения. Топологический метод позволяет найти более естественный путь прохождения трассы, причем этот путь будет неортогональным, аналогично тому, как это сделал бы человек, ориентируясь на базовое направление проводника, стиль трассировки на данном слое (преобладающее направление и угловые скосы). Ведь живой разработчик почти никогда не ограничен требованием проложить трассу через некоторую область, используя исключительно прямые углы. Он просто прокладывает проводник через имеющийся канал трассировки так, как считает нужным.

Как показано на рисунке 3, трасса, полученная при использовании топологического метода, может резко отличаться от оптимальной. Поэтому для получения окончательного варианта трассировщик Situs использует специальный алгоритм, привязывающий путь трассировки к реальному пространству трассировки с заданной координатной сеткой, после чего получается проводник, показанный на рисунке 4.

Начальный топологический анализ пути трассировки, не ссылающийся на абсолютную координатную сетку, позволяет получить высокий процент завершенности разводки при меньших затратах ресурсов и времени на платах с контуром и вырезами нерегулярной формы, ранее вызывавших проблемы у обычных трассировщиков.

Выбор нужного направления

Другое преимущество топологического подхода заключается в том, что процесс анализа и определения пути трассировки очень похож на процесс ручной разводки платы.

Например, опыт показывает, что гораздо эффективнее трассировать все проводники, расположенные на данном слое в одном направлении. Для простых двухслойных плат трассировку на верхнем слое можно было бы выполнять в горизонтальном направлении, а на нижнем — в вертикальном. Этого правила могли бы придерживаться и разработчик, и автотрассировщик.

В этом случае в задачу трассировки вводится элемент упорядоченности, аналогично дорожной разметке, в результате чего и конструктор, и автотрассировщик рассматривают плату как набор каналов трассировки заданного стиля. Для традиционных трассировщиков (сеточных или на основе прямоугольников) были возможны только два варианта стиля: вертикальный для проводников, идущих от нижнего края к верхнему, и горизонтальный, для проводников идущих от одной боковой стороны к другой.

По мере роста плотности размещения компонентов, может возникнуть необходимость введения дополнительного слоя, причем полезно рассмотреть возможность назначения этому слою приоритетного направления трассировки отличного от вертикального или горизонтального. Это как раз то, что разработчик делает на практике: бегло проверяет направление связей и, если имеется достаточное число связей, идущих в диагональном направлении, вводит новый слой, для которого это направление выбирается приоритетным.

Ни сеточные, ни ортогональные трассировщики не могут проложить трассу в истинно диагональном направлении. Лучшее, что они могут сделать, это выполнить связь как набор вертикальных и горизонтальных сегментов. Далее для прокладки истинно диагональной трассы запускается специальный постпроцессор.

Топологический автотрассировщик изначально не имеет ограничения на углы, поэтому может сразу идентифицировать диагональную трассу, выделить ее на отдельный слой и прорисовать оптимальным образом. Он позволяет выполнить не просто более "естественную" трассировку, но и минимизировать число переходных отверстий.

Окончательная прорисовка проводника

Как уже говорилось ранее, топологический анализ обеспечивает эффективный способ определения возможного пути трассировки. Но полученный путь должен быть преобразован в законченный проводник. Автотрассировщик, подобно разработчику, столкнется с массой конфликтных ситуаций, которые должны быть разрешены различными способами, например, расталкиванием существующих объектов, мешающих прокладке проводника.

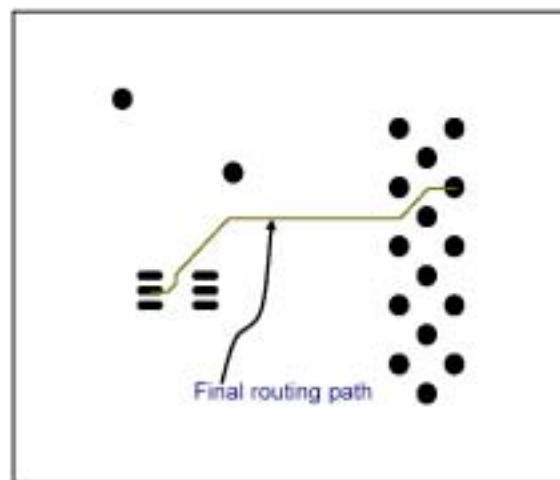


Рисунок 4. Конечный вид разведенного проводника.

Для решения этой задачи трассировщик Situs использует набор процедур трассировки, (трассировщик памяти, цепей питания и заземления, эвристический, шаблонный и др.), которые используются в каждом конкретном случае. Все эти процедуры уже достаточно хорошо отработаны и проверены годами. В совокупности с интеллектуальным методом выбора пути трассировки, эти процедуры позволяют получить на плате оптимально проложенный проводник.

Все процедуры трассировки программы Situs управляются набором соответствующих файлов описания стратегии, который по сути является ее мозгом. Живой разработчик во время трассировки имеет ряд неоспоримых преимуществ перед компьютерной программой. Мозг человека, может планировать, рассматривать отдельные ситуации, принимать решения, опираясь на огромное число иногда неявных факторов, фокусироваться на отдельных элементах, возвращаться назад и пересматривать ранее принятые решения. Файлы стратегии работают аналогично шаблонам мышления: вызываются при возникновении определенной ситуации, запускают нужную процедуру и управляют ходом ее выполнения.

Чтобы оценить важность файлов описания стратегии, рассмотрим, как меняется характер задач трассировки по мере ее выполнения. Приемы трассировки относительно пустой платы, отличаются от стратегии трассировки платы с высокой плотностью проводников. Инструкции, прописанные в файле стратегии, планируют то, как будет трассироваться плата, вызывают нужную процедуру, присваивают ей соответствующий весовой коэффициент. Затем производится трассировка пустой платы, изменяется процедура, назначаются новые весовые коэффициенты и последние трассы прокладываются в условиях ограниченного свободного места.

Благодаря реализации через файлы стратегии элементов искусственного интеллекта, компания Altium получила возможность совершенствовать свой автотрассировщик по мере развития технологии производства печатных плат. Файлы стратегии трассировщика Situs являются на сегодняшний день одними из самых сложных. Они воплощают в себе многолетний опыт исследований в области автоматической трассировки печатных плат.

Заключение

Современные тенденции проектирования печатных плат и появление новых технологий являются прекрасным средством тестирования программ автотрассировки. Так же как в свое время появление компонентов для поверхностного монтажа выявило ограничения старых сеточных трассировщиков, так и сейчас появление компонентов с высокой плотностью размещения выводов (а главное их нерегулярностью) выявило ограничения современных бессеточных трассировщиков.

Топологический анализ поверхности платы позволяет абстрагироваться от координат объектов на плате и получить конечный результат, более похожий на результат работы живого человека.

По вопросам приобретения продуктов компании Altium просим обращаться в компанию ЭлектТрейд-М по телефону +7-(095)-974-14-80 или адресу info@electrade.ru.