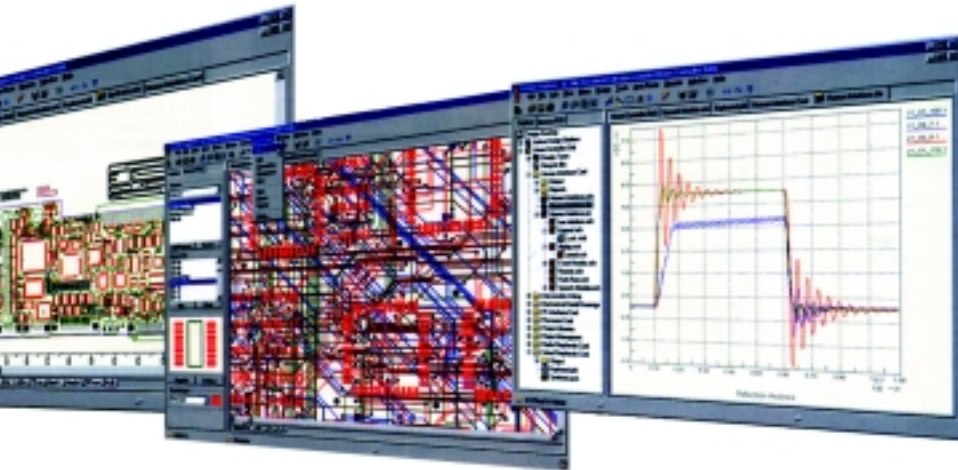


# Новый топологический автотрассировщик



**ТРАССИРОВКА ПРОВОДНИКОВ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ ЯВЛЯЕТСЯ СЛОЖНОЙ ЗАДАЧЕЙ, ПРИЧЁМ ЕЁ СЛОЖНОСТЬ МЕНЯЕТСЯ ПО МЕРЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ. ВРЕМЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВРУЧНУЮ БОЛЬШИХ ИЛИ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ПЛАТ РЕЗКО ВОЗРАСТАЕТ. РЕШИТЬ ПРОБЛЕМУ ПРИЗВАНЫ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ, НАЗЫВАЕМЫЕ АВТОТРАССИРОВЩИКАМИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ НА ПЛАТЕ ПРОВОДНИКОВ И ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ БЕЗ УЧАСТИЯ ЧЕЛОВЕКА. КАК ПРАВИЛО, ТАКИЕ ПЛАТЫ УПРАВЛЯЮТСЯ НАБОРАМИ ПРАВИЛ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, А ИХ СОБЛЮДЕНИЕ И ДОСТИЖЕНИЕ 100-% ЗАВЕРШЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРИ ХОРОШЕМ КАЧЕСТВЕ ТРАССИРОВКИ ЯВЛЯЕТСЯ СЛОЖНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЗАДАЧЕЙ.**

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

Современные сеточные и бессеточные трассировщики имеют ряд ограничений, связанных с геометрической основой методов трассировки, которые 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, подобных ограничений не имеет. В нём используется оригинальная технология топологического анализа поверхности платы, которая не привязана 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 компонентов на многослойной механической структуре, называемой печатной платой (PCB). Электрические соединения реализуются с помощью участков меди различной формы, называемых проводниками или трассами, проложенных по всей плате 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 размещёнными компонентами.

Самые первые автотрассировщики накладывали на область проектирования регулярную сетку, причём каждый вывод компонента должен быть вписан в узлы этой сетки. Сам процесс трассировки заключался в прокладке проводников между выводами



Рисунок 1

**Результат работы обычного сеточного трассировщика**

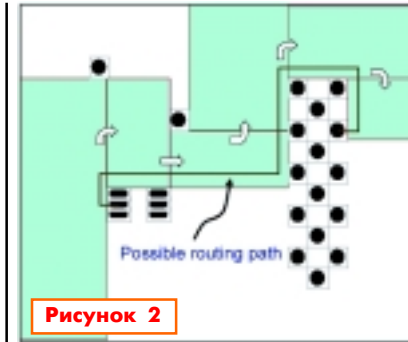


Рисунок 2

**Поиск пути трассировки по методу прямоугольников**

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 задача эта решалась достаточно просто (рис. 1).

С появлением технологии поверхностного монтажа, расстояния между выводами стали значительно меньше, кроме того, появились 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. В результате сеточные автотрассировщики стали 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.

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 касающихся их сторон. Такая техника позволила решить проблему различного, причём нерегулярного, расстояния между выводами компонентов и позволила автотрассировщикам обрабатывать новые для того времени платы с поверхностным монтажом (рис. 2). Этот метод 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, но всё ещё имели естественные ограничения, связанные с геометрией. Дело в том, что после разбиения платы на прямоугольники и запуска процесса, фронт волны трасси-

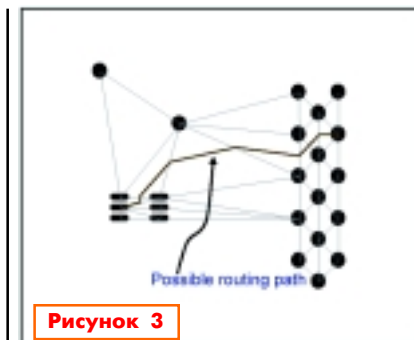
ровки мог распространяться только в двух направлениях: вертикальном или горизонтальном (согласно направлению сторон прямоугольников), что определяло ортогональный стиль трассировки. Проблемы начинались с введения на плату неортогональных объектов, например, повернутых на произвольный угол компонентов или компонентов с выводами, расположенными на зигзагообразной кривой. Часто в таких случаях ортогональный путь трассировки не мог быть найден, и процесс разводки платы не был завершён.

Развитие технологии корпусирования 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. К тому же новые дизайнерские решения требовали разработки плат нестандартной формы. Всё это привело к появлению проблем и у бессеточных трассировщиков и стимулировало развитие новых инструментов.

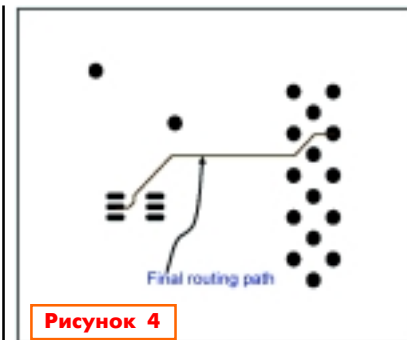
### ЧТО ТАКОЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ТРАССИРОВЩИК?

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. Причём 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



**Поиск пути трассировки методом топологического анализа**



**Конечный вид разведённого проводника**

“препятствий”, после чего запускается описанный выше алгоритм “плетения”, который находит путь от начальной до конечной точки трассировки. Главное преимущество этого метода заключается в том, что треугольники могут быть произвольной формы и не иметь ограничений по величине углов, а значит, трассировка может вестись в произвольном направлении, а не только в вертикальном или горизонтальном, как это было в методе прямоугольников.

Чтобы построить топологическую карту платы, трассировщик Situs определяет на ней связи всех соседних “препятствий”, и в результате получается нечто, похожее на сеть паука. Потенциальный путь трассировки находится посредством последовательного перехода от одной ячейки сети к другой, пока не будет достигнута конечная точка. При таком подходе трасса не привязана к координатной сетке на плате, она как бы “вплетается” между двумя соседними препятствиями (рис. 3).

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, причём этот путь будет неортогональным, аналогично тому, как это сделал бы человек, ориентируясь на базовое направление проводника и 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 рис. 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 (рис. 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, причём 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 её 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, столкнётся с массой конфликтных ситуаций, которые должны быть разрешены различными способами, например, расталкиванием существующих объектов, мешающих прокладке проводника.

Для решения этой задачи трассировщик Situs использует набор процедур трассировки (трассировщик памяти, цепей питания и заземления, эвристический, шаблонный и другие), которые используются в каждом конкретном случае. Все эти процедуры 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 её 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 ин-

да неясных факторов, фокусироваться на отдельных элементах, возвращаться назад и пересматривать ранее принятые решения. Файлы стратегии работают аналогично шаблонам мышления: вызываются при возникновении определённой ситуации, запускают нужную процедуру и управляют ходом её выполнения.

Чтобы оценить важность файлов описания стратегии, рассмотрим, как меняется характер задач трассировки по мере её выполнения. Приёмы 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 своё 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 ЭлектронТрейд по телефону (095) 243-7250 или по адресу [info@electrade.ru](mailto:info@electrade.ru).