

Об оптимальной расстановке фанатов на печатных платах

Александр Старков

В статье рассматривается задача оптимальной расстановки фанатов на печатных платах и анализируются ограничения существующих решений в современных САПР. Предложена математическая постановка задачи выбора фанатов как поиска максимального набора совместимых вариантов без нарушений правил проектирования. Обоснована вычислительная сложность задачи и необходимость применения приближённых алгоритмов. Показано, что предложенный подход позволяет повысить полноту и качество разводки, включая работу с дифференциальными парами и конфликтами трассировки.

Основные понятия

Современные печатные платы (ПП) состоят из многих слоёв. На поверхностных слоях (Top/Bottom) размещаются пины (они же контактные площадки). Пины бывают либо сквозные (Through), либо однослойные (SMD).

Как правило, пину приписана некоторая электрическая цепь. Пины одной цепи соединены условными линиями (нетлайнами) таким образом, что получается связный граф (где пины – это вершины, а нетлайны – это рёбра).

Задача трассировки ПП состоит в замене каждого нетлайна цепочкой из трексов (трасс) и переходных отверстий ПО (межслойных переходов или вивёв), не создавая при этом наруше-

ний DRC (правил толщины, зазоров и т.д.) с объектами (пинами/треками/ПО) других цепей.

При этом использование ПО неизбежно, если на концах нетлайна находятся SMD-пины на разных сторонах платы. Из-за высокой плотности размещения пинов на поверхностных слоях трассировка в основном происходит на внутренних слоях. Поэтому, если невозможно страссировать нетлайн на одном слое, обычно сразу создают так называемые фанаты от нужных SMD-пинов.

Фанат – это, как правило, короткий трек от пина, на конце которого располагается ПО. На рис. 1 изображен фанат для одного из 8 пинов (иногда разрешается ставить ПО малого размера

прямо в центр пина без промежуточного трека, но этот случай мы здесь не рассматриваем).

Трассировка ПП обычно начинается с разводки треками на поверхностном слое самых коротких нетлайнов с пинами на этом слое. Следующий шаг – создание фанатов от остальных SMD-пинов.

Пины объединены в компоненты. Наиболее сложный вид имеют BGA-компоненты. Они состоят из большого количества (иногда десятков тысяч) круглых SMD-пинов, расположенных в очень плотной (при этом не обязательно регулярной) матричной структуре.

Если позволяют размеры ПО и зазоры ПО – Пин, фанат в BGA – это короткий трек от пина до ПО в диагональном направлении в центр ячейки с вершинами из соседних пинов (рис. 2).

Задача расстановки фанатов в BGA-компонентах достаточно хорошо изучена [1, 2]. Задача же расстановки фанатов в остальных SMD-компонентах меньше изучена, хотя и кажется более простой.

Основными видами таких компонент являются SOIC и LCC (на первом рисунке выше компонента имеет тип

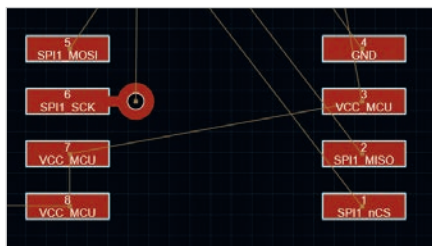


Рис. 1. Фанат для SMD-пина 6



Рис. 2. Фанат для BGA-пина Y17

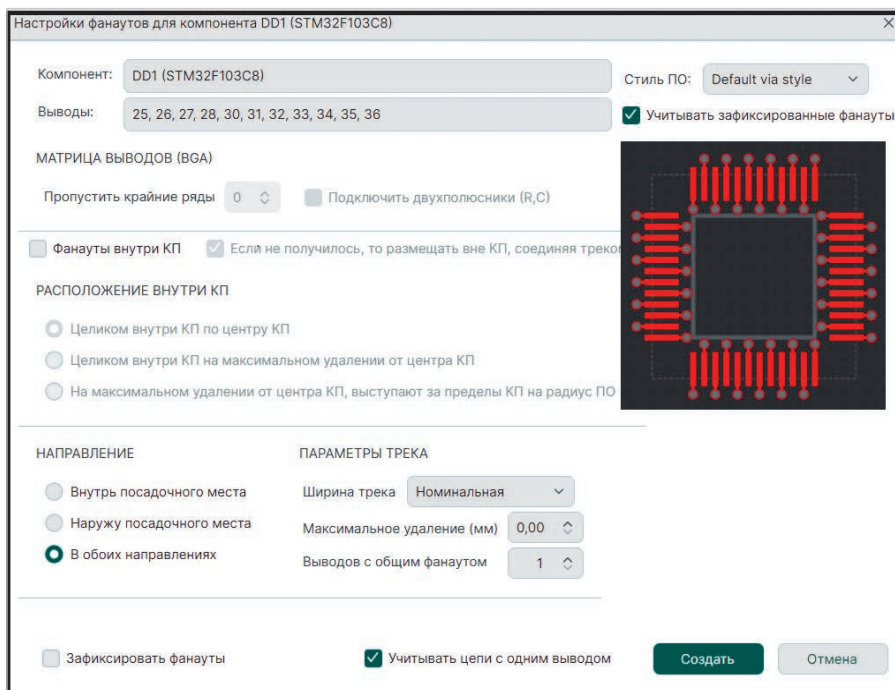


Рис. 3. Диалог для расстановки фанатов в DD

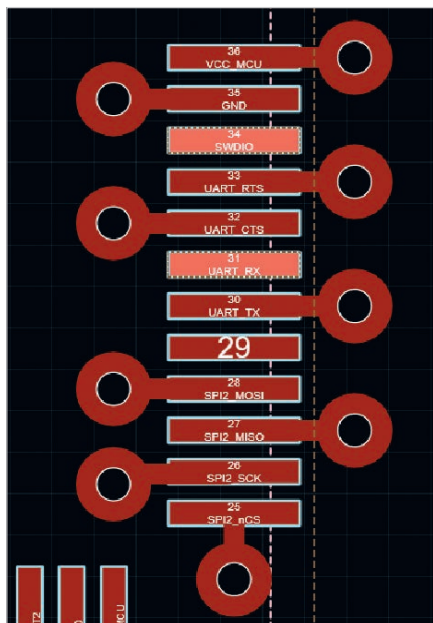


Рис. 4. Неполная расстановка фанатутов

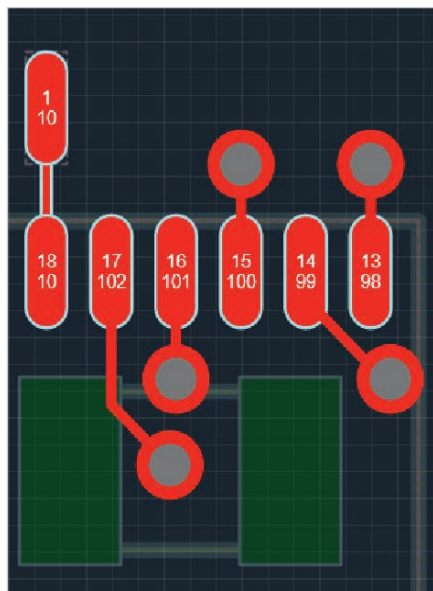


Рис. 5. Искривлённые фанатутные треки

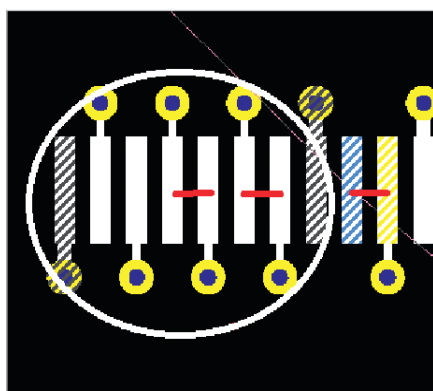


Рис. 6. Дифпарные фанатуты, построенные с помощью паттернов в Xpedition

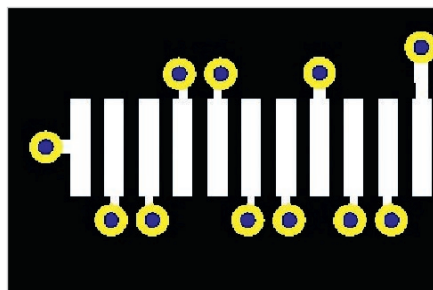


Рис. 7. Дифпарные фанатуты, построенные командой F2 в Xpedition

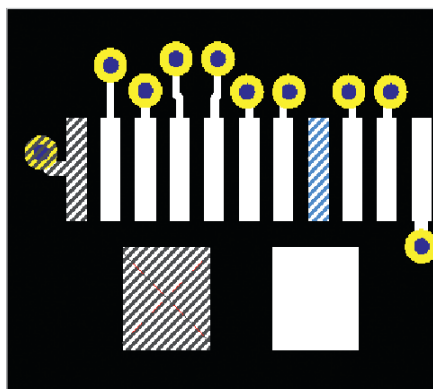


Рис. 8. Неполная разводка фанатутов

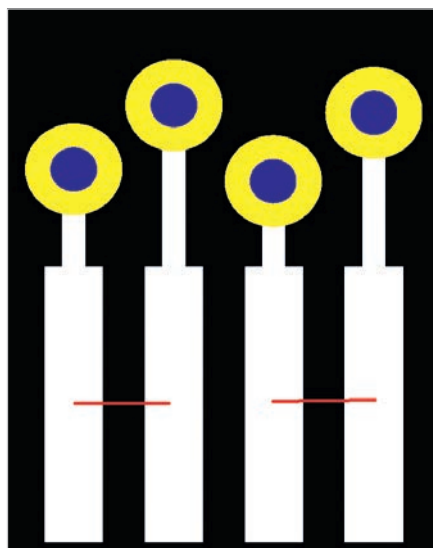


Рис. 9. Прямые дифпарные фанатуты

SOIC, в диалоге ниже – LCC). Пины в таких компонентах обычно прямоугольной формы (возможно, со скруглёнными углами). Согласно «правилам пад-энтри», хороший выход трека из такого пина происходит ортогонально через середину стороны (предпочтительно короткую). Иногда разрешён и выход через вершину пина по диагонали.

Обзор возможностей современных САПР

Для создания фанатутов в системе Delta Design (DD) имеются две возможности: в режиме TopoR и в режиме RightPCB. TopoR не имеет настроек и создает фанатуты сразу для всех BGA-компонент (плюс для цепей питания в SMD-компонентах).

RightPCB работает со всеми или только выбранными пинами отдельной компоненты и имеет диалог для управления расстановкой фанатутов (рис. 3).

В настоящее время эта функциональность в DD существенно дорабатывается. Однако в некоторых случаях удаётся расставить не все фанатуты (рис. 4: пины 31 и 34 подсвечены; пину 29 не приписана цепь, и ему фанатут не требуется). Иногда фанатуты излишне длинные (рис. 5).

Такие же недостатки (неполная разводка или некая кривизна фанатутов) присущи механизмам создания паттернов в других ведущих САПР (Xpedition, Altium, Allegro). Все они используют либо последовательную расстановку фанатутов по заданному шаблону (в линейку, в ёлочку и т.д.), либо используют подход «сначала поставим прямые короткие фанатуты везде, где возможно, а потом займёмся остальными».

Отметим, кстати, один существенный момент. Как DD в режиме RightPCB, так и Xpedition при расстановке фанатутов не создают нарушений DRC (если это и случается, то является дефектом программы и подлежит исправлению). В отличие от них, Altium, Allegro и DD в режиме TopoR могут создавать большое количество нарушений. Иногда это помогает понять, в каких местах имеются проблемы, и тут же их решить в ручном режиме.

Ещё одним недостатком фанатутных паттернов является отсутствие поддержки дифпарности. Дифференциальная пара – это пара цепей, которые должны разводиться одновременно и попарно, т.е. треки дифпары должны идти параллельно на определённом зазоре друг от друга и переходить на другой слой с помощью ПО одновременно. Как правило, дифпарные пины стоят рядом, и фанатуты для такой пары пинов должны выводиться в одну сторону. Однако фанатутные паттерны это правило не поддерживают.

Ниже на рис. 6 приведён фрагмент расстановки фанатутных паттернов в Xpedition. Красными отрезками отмечены дифпарные пины, у всех фанатутов разведены в разные стороны. Синим цветом подсвечен пин, не получивший фанатута. Очевидно, что если всю левую группу фанатутов, обведённую белым овалом, перенаправить на

противоположные направления, то были бы разведены все фанауты.

В Xpediton, в отличие от остальных САПР, есть другая опция для создания фанаутов: команда F2 для выбранного набора пинов (не обязательно из одной компоненты). Она не имеет никаких настроек и разводит фанауты один за одним, при этом умея толкать другие объекты (треки и ПО), если этого требует соблюдение зазоров. Эта команда имеет полноценную поддержку дифпарности. Более того, дифпарные фанауты являются симметричными (рис. 7).

Поскольку диаметры ПО больше поперечника пинов, дифпарные фанауты разведены не отрезками, а «ключками». Из-за этого соседние дифпары вынуждены разводиться в разные стороны. В данном случае это не создаёт проблем, но может привести к неполной разводке при наличии других пинов поблизости компоненты (рис. 8).

Заметим, что дифпарные фанауты можно было бы развести отрезками и разместить все фанауты в одном направлении. На рис. 9 приведён пример такой разводки двух соседних дифпар в одном направлении.

У этого подхода есть известный недостаток: фанауты внутри дифпары будут разной длины. Это не имеет значения для низкочастотных цепей, однако крайне нежелательно для высокочастотных. В любом случае, полезно дать пользователю возможность управлять видом дифпарных фанаутов.

Постановка задачи

Как видно, все описанные способы построения фанаутов с помощью паттернов имеют определённые недостатки. Попробуем сформулировать задачу при построении фанаутов для произвольного набора пинов: создать максимальное число максимально коротких фанаутов при соблюдении правил DRC и дифпарности.

Разумеется, при этом желательно соблюдать другие правила: «хороший» выход треков из пина (качество пад-энтри), симметричность дифпарных фанаутов и т.д. Отдельно стоит вопрос о пригодности фанаутов для последующей трассировки, например, с помощью эскизного трассировщика пучков ЭТП [3].

Попытаемся описать (как нам кажется, довольно универсальный) подход для решения этой задачи в

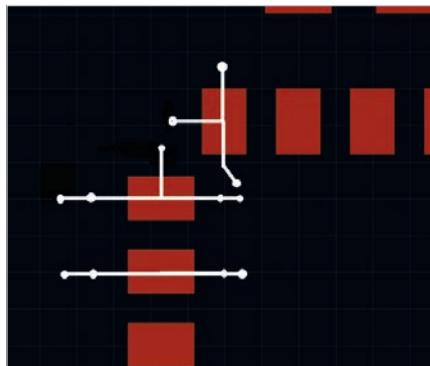


Рис. 10. Потенциальные варианты фанаутов для трёх SMD-пинов

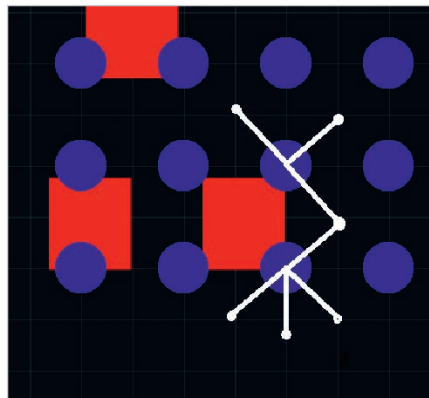


Рис. 11. Потенциальные варианты фанаутов для двух BGA-пинов



Рис. 12. Полная расстановка фанаутов

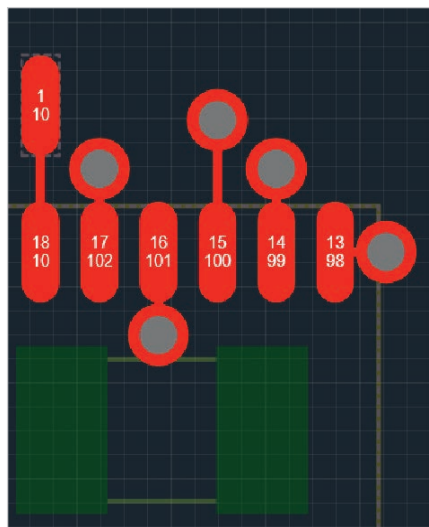


Рис. 13. Фанауты с короткими прямыми треками

рамках системы DD. Как отмечалось, режим RightPCB работает, избегая нарушений DRC. Существенным ограничением этого режима по сравнению с ведущими САПР является невозможность «толкать» существующие объекты при трассировке. Это касается и ЭТП. Поэтому такое же ограничение имеет место и для нашего подхода к созданию фанаутов.

Второе ограничение: как и ЭТП, мы будем создавать только «регулярные» треки для фанаутов (т.е. с сегментами в одном из 8 направлений, кратных 45 градусам).

Предположим, что мы научились создавать некоторый набор фанаутов для каждого отдельно взятого пина без нарушений DRC с существующими объектами ПП. Скажем, для нижнего пина на рис. 10 мы можем рассмотреть 4 варианта фана-

утов (все – отрезками). Для «угловых» пинов над ним – 5; 3 варианта (заметим, что один из вариантов имеет форму «ключки» из-за соблюдения зазора ПО – Пин). Маленькие кружки обозначают центры потенциальных ПО.

Для BGA-пинов можно пробовать все 8 направлений (рис. 11). На периферии плотной области предпочтительнее не диагональное, а ортогональное направление, чтобы создать каналы трассировки (красные прямоугольные пины находятся на противоположном слое и ограничивают наши варианты).

Центральный шаг построения сводится к тому, чтобы для каждого пина выбрать один из вариантов, не создавая DRC с другими фанаутами. Если это невозможно сделать сразу для всех пинов, надо постараться сделать это для наибольшего их числа. Сформулируем такую задачу на языке математики.

Пусть мы имеем N множеств элементов $S(1), \dots, S(N)$. Каждое множество $S(i)$ состоит из элементов $e(i, 1), \dots, e(i, n(i))$,

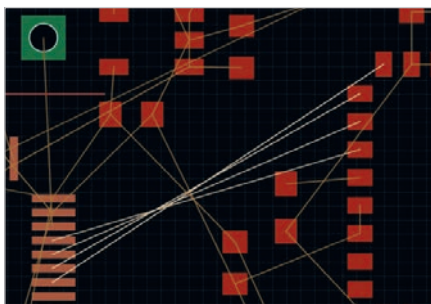


Рис. 14. Пучок из четырёх нетлайнов

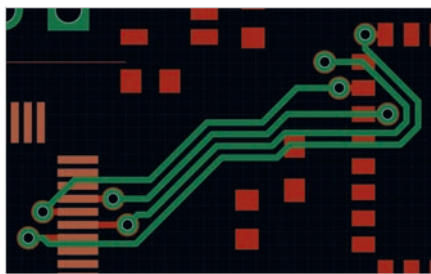


Рис. 15. Разводка четырёх нетлайнов для фанатов без учёта конфликтов

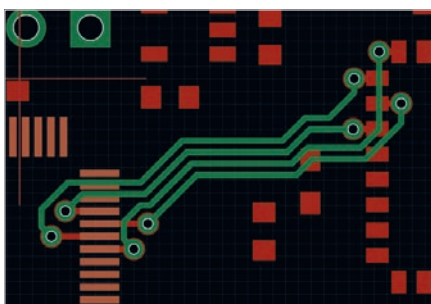


Рис. 16. Разводка четырёх нетлайнов для фанатов с учётом конфликтов

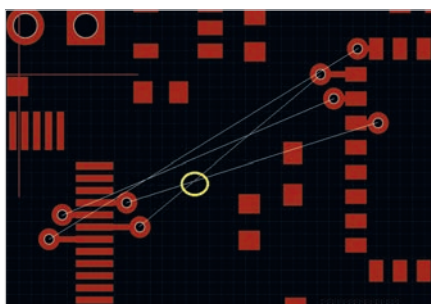


Рис. 17. «Жёсткий» конфликт нетлайнов между фанатами

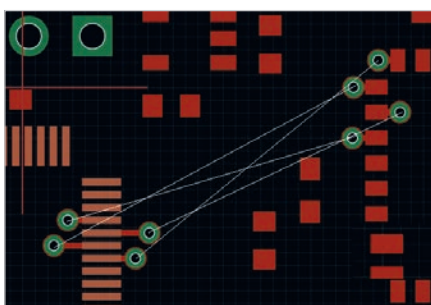


Рис. 18. «Мягкие» конфликты нетлайнов между фанатами

где $n(i)$ – размер множества $S(i)$. Предположим, что имеется булевская функция от любой пары элементов разных множеств:

$$V(e(i,k), e(j,l)) = 0 \text{ или } 1, \text{ где } i \neq j, k = 1, \dots, n(i), l = 1, \dots, n(j).$$

Требуется найти наибольшее семейство элементов из разных множеств (т.е. не более одного элемента из каждого множества) так, чтобы для любой пары таких элементов функция V принимала значение 0.

В такой постановке множество $S(i)$ – это набор вариантов фанатов для i -го пина, а функция V на паре фанатов от разных пинов равна 0, если они не находятся в DRC-нарушении друг с другом.

Разумеется, эту задачу можно решить полным перебором комбинаций. Однако количество комбинаций экспоненциально зависит от N (даже если размеры множеств ограничены некоторой константой). Задача же

поиска максимального совместимого набора, в свою очередь, имеет экспоненциальную сложность от количества комбинаций. Поэтому такой подход не может применяться на практике.

Отметим, что частным случаем этой задачи является «задача о максимальной клике»: в заданном графе требуется найти клику (подграф, у которого любая пара вершин соединена ребром) максимального размера. Действительно, если у каждого пина (= вершины графа) имеется только один вариант фанатов, мы соединяем его ребром с другим пином, если функция V равна 0 на этой паре фанатов. Тогда клика – это семейство пинов с фанатами без нарушений DRC.

Применения к постановке фанатов

Поскольку даже задача о максимальной клике является NP-полной, у нас нет эффективного решения более общей задачи с гарантированно максимальным количеством. Однако нетрудно написать алгоритм, который почти всегда (или достаточно часто) находит оптимальное решение. При этом основные вычисления придутся на расчёт функции V , т.е. наличие DRC-нарушения между двумя фанатами. Этот расчёт квадратично зависит от N (если количество вариантов для одного пина ограничено некоторой константой).

Приведём примеры построения фанатов с использованием нашего подхода. На рис. 12 ниже нам удалось построить на 2 фаната больше, чем на рис. 4 с использованием паттернов. На рис. 13 все наши фанаты состоят из прямых коротких треков, что предпочтительнее, чем разводка с помощью паттернов на рис. 5.

Заметим, что оптимальное решение не обязательно быть единственным, и мы можем его улучшать, используя другие параметры. Например, мы можем:

- минимизировать суммарную длину фанатов;
- минимизировать суммарный штраф за «плохое» пад-энтри;
- минимизировать суммарный штраф за несимметричность дифпарных фанатов и т.д.

Это делается путём минимизации соответствующей положительной функции F на множестве фанатов. При этом мы меняем варианты фанатов только для найденного «максимального» набора пинов. Разумеется, при этом мы должны соблюдать главное требование: не создавать DRC-нарушений.

Применения к эскизному трассировщику пучков

Задача построения фанатов – неизбежный шаг в рамках развития ЭТП, а именно: пользователь селектирует некоторый набор нетлайнов между пинами и рисует эскиз на каком-то слое ПП. Если все пины находятся на этом слое или являются сквозными, можно сразу запускать механизм однослойной трассировки вдоль эскиза. Если же какие-то пины на слое эскиза отсутствуют, нам требуется вначале построить фанаты для таких пинов. При этом оказалось, что можно решить более общую проблему, описанную выше. Однако в приложении к ЭТП задача имеет свою специфику. Например, появляются дополнительные требования к семейству фанатов:

- желательно, чтобы фанаты по возможности были направлены в сторону эскиза;
- желательно «распутать» имеющиеся конфликты между нетлайнами;
- желательно не создавать конфликты внутри каждой дифпары.

Прокомментируем последние два пункта с помощью рис. 14. Предположим, что нам надо развести пучок из 4 нетлайнов между SMD-пинами на слое

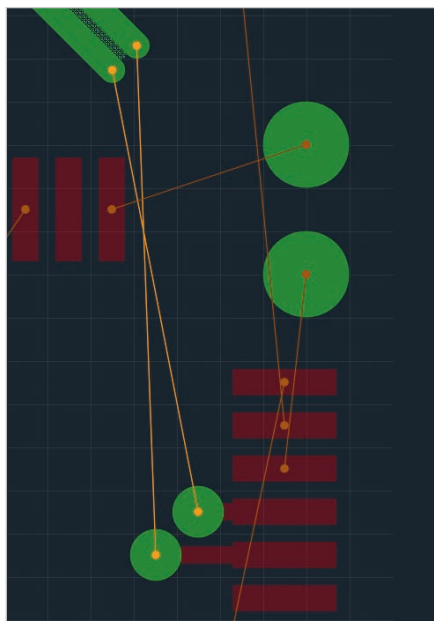


Рис. 19. Конфликт дифпарных нетлайнов от фанаутов

Тор напрямую (т.е. без эскиза) на слое Bottom (заметим, что на слое Top полная однослойная трассировка напрямую невозможна из-за противоположного порядка пинов на концах нетлайнов).

Если не учитывать специфику ЭТП и просто создать фанауты для 8 пинов, мы получим разводку, как на рис. 15.

Картинка стала бы более красивой (а суммарная длина треков меньше), если расставить фанауты по-другому (рис. 16).

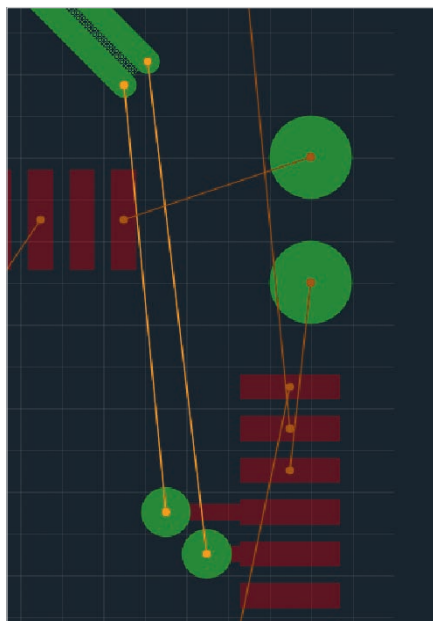


Рис. 20. Удачная расстановка дифпарных фанаутов

Качество построенных фанаутов для однослойной трассировки можно оценить, если нарисовать нетлайны между ПО на двух конфигурациях (рис. 17 и 18).

При однослойной трассировке напрямую желательно, чтобы семейство нетлайнов было более-менее параллельным, хотя допускаются незначительные («мягкие») конфликты. В первой конфигурации имеется «жесткий» конфликт двух нетлай-

нов, обозначенный жёлтым овалом. Условно говоря, здесь это означает, что данную пару нельзя развести двумя монотонными по всем направлениям треками даже при игнорировании других объектов ПП.

Попарную конфликтность нетлайнов можно оценить численно по отношению к любому эскизу, и тогда при расстановке фанаутов можно минимизировать их суммарную величину.

Это же относится и к построению дифпарных фанаутов. Очевидно, что для прямой доразводки дифпары из двух вариантов фанаутов (рис. 19 и 20) на нижнем конце предпочтительнее второй.

Литература

1. Ch. Pfeil. BGA Breakouts and Routing: Effective Design Methods For Very Large BGAs. CreateSpace, 2008, 188 pages.
2. Кноп К., Лузин С., Лузин М., Сорокин С., Лячек Ю. Расстановка фанаутов в области BGA с нерегулярным расположением контактов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2017. № 4. С. 31–34.
3. Грачёв В., Гладкевич А., Сорока Д., Тимасов Д., Елисеев М., Старков А. «Трассировка пучка трекков» – инструмент для творчества // Современная электроника. 2025. № 9. С. 28–31.



НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

ChatGPT усилит контроль за радикальным контентом пользователей

Искусственный интеллект ChatGPT может получить новые функции для выявления пользователей с признаками радикальных взглядов и перенаправления их к специализированным системам взаимодействия. Об этом сообщает Reuters со ссылкой на участников проекта.

Инициатива направлена на снижение рисков, связанных с онлайн-радикализацией, и развивается на фоне роста числа судебных разбирательств, затрагивающих ответственность цифровых платформ за пользовательский контент. Ключевым разработчиком решения выступает новозеландская компания ThroughLine, сотрудничающая с OpenAI, Anthropic и Google.

Текущая специализация ThroughLine – обнаружение кризисных сигналов в пользовательских запросах. Система уже способна выявлять признаки суицидальных мыслей,

домашнего насилия и расстройств пищевого поведения, после чего перенаправляет пользователя к профильным службам помощи. Новый этап развития предполагает расширение функциональности на случаи потенциальной радикализации.

Партнёром проекта выступает The Christchurch Call – международная инициатива по противодействию распространению экстремистского контента в Интернете, созданная после стрельбы в Крайстчёрче. Организация будет предоставлять экспертную поддержку при анализе потенциально опасных запросов.

В рамках новой архитектуры ThroughLine планирует разработать специализированный чат-бот для оперативного реагирования на выявленные риски. Предполагается, что система будет не только ограничивать распространение вредоносного контента, но и предлагать пользователям альтернативные, более безопасные сценарии взаимодействия.



Инициатива отражает более широкий тренд в индустрии искусственного интеллекта, где разработчики усиливают механизмы превентивной модерации и внедряют инструменты раннего выявления потенциально опасного поведения пользователей.

НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

TSMC переносит передовые техпроцессы в Японию: к 2028 году – запуск 3-нм производства

Япония усиливает позиции в глобальной полупроводниковой гонке: TSMC планирует развернуть массовое производство 3-нм чипов на втором заводе в стране к 2028 году. Этот шаг знаменует переход от «зрелых» техпроцессов к передовым узлам и отражает растущую стратегическую роль Японии в цепочках поставок микроэлектроники.

Переход к передовым нормам

Новый завод будет выпускать до 15 000 кремниевых пластин диаметром 300 мм ежемесячно с использованием 3-нм техпроцесса – одного из наиболее продвинутых, доступных для коммерческого производства. Для сравнения, действующее предприятие TSMC в Японии, запущенное в 2024 году, сосредоточено на узлах 40 нм, 28 нм и 12/16 нм.

Таким образом, речь идёт о качественном скачке: локализация производства передовых чипов в Японии ранее не была характерна для стратегии компании.



Инвестиции и промышленный альянс

Проект реализуется через совместное предприятие Japan Advanced Semiconductor Manufacturing, созданное при участии Sony Group. Позднее к числу инвесторов присоединились Denso и Toyota Motor Corporation.

Совокупные инвестиции TSMC в два японских завода уже превышают 20 млрд долларов. Стоимость второго предприятия, по оценкам, может достигать около 17 млрд долларов, что делает его одним из крупнейших промышленных проектов в стране.

Ставка на ИИ и автопром

Запуск 3-нм производства ориентирован на удовлетворение спроса со стороны наиболее быстрорастущих сегментов: искусственного интеллекта, автомобильной электроники и потребительских устройств.

Особенно показательно участие Toyota Motor Corporation и Denso – автопром всё активнее зависит от передовых полупроводников, включая решения для автономного вождения, ADAS-систем и электромобилей.

Геополитика чипов

Расширение присутствия TSMC в Японии укладывается в глобальный тренд диверсификации производства и снижения рисков,

связанных с концентрацией мощностей в отдельных регионах.

Для Японии это часть системной стратегии по восстановлению национальной полупроводниковой отрасли и снижению зависимости от внешних поставщиков. На фоне усиливающейся конкуренции за доступ к передовым техпроцессам страна стремится вернуть себе статус одного из ключевых технологических центров.

С учётом параллельных инициатив, включая проекты Rapidus по разработке 2-нм и более тонких норм, формируется новая индустриальная архитектура, в которой Япония может занять роль одного из узлов глобального производства чипов следующего поколения.

Редкоземельный прорыв: в России упростили производство критических материалов для электроники

Российские учёные предложили новые энергоэффективные технологии получения соединений редкоземельных металлов, способные существенно снизить себестоимость и экологическую нагрузку производства. Разработки, созданные в НИТУ МИСИС, уже запатентованы и рассматриваются как база для масштабирования в промышленности.

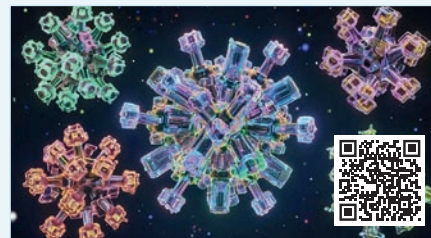
Ускорение химии: в разы быстрее и чище

Речь идёт о двух ключевых процессах: получении карбоната неодима и диоксида церия, широко используемых в электронике, энергетике и оптике.

В первом случае учёные предложили метод осаждения карбоната неодима из концентрированных азотнокислых растворов с применением насыщенных углеаммонийных солей. В отличие от традиционных подходов, технология не требует длительной перекристаллизации и нагрева. Это позволило увеличить производительность примерно в 10 раз и сократить объём отходов минимум в пять раз.

Карбонат неодима является стратегическим промежуточным продуктом: из него получают материалы для сверхсильных магнитов, применяемых в электродвигателях, ветрогенераторах и электронной технике.

Вторая разработка касается получения диоксида церия. Учёные предложили использовать СВЧ-нагрев суспензии карбоната церия, что позволяет заменить многочасовое прокаливание обработкой длительностью всего 1–2 минуты. При этом исключаются стадии промывки и сушки, а итоговый порошок приобретает сферическую форму с высокой долей мелкодисперсных частиц – критически важное свойство для высокоточной полировки стекла и дисплеев.



Технологический разрыв и шанс на догоняющее развитие

Несмотря на значительные запасы редкоземельных металлов, Россия пока существенно уступает мировым лидерам по уровню их переработки. По оценкам, на страну приходится около 17% мировых запасов РЗМ (около 28,5 млн тонн), однако доля в глобальном производстве составляет менее 1%.

Абсолютным лидером остается Китай, контролирующий около 70% добычи и более 85% поставок переработанных редкоземельных материалов. Это формирует устойчивую зависимость глобальных цепочек поставок от китайской переработки.

На этом фоне разработки НИТУ МИСИС выглядят как попытка сократить технологический разрыв за счёт повышения эффективности базовых химико-технологических операций. Упрощение процессов, снижение энергозатрат и отходов напрямую влияют на экономику производства и его масштабируемость.

Индустриальный контур: ставка на Арктику

Параллельно с научными инициативами формируется и промышленная инфраструктура. В частности, власти Мурманской области прорабатывают создание специализированного индустриального парка по переработке редкоземельных металлов.

Арктическая зона России играет ключевую роль в отрасли: на неё приходится до 97% разведанных запасов и фактически вся добыча РЗМ в стране. Создание перерабатывающих мощностей вблизи сырьевой базы может снизить логистические издержки и ускорить формирование полного производственного цикла.

Перспективы внедрения

Эксперты отмечают, что предложенные методы обладают высокой конкурентоспособностью за счёт технологической простоты и ресурсной эффективности. При успешной индустриализации они могут стать основой для развития отечественной цепочки производства материалов для электроники – от сырья до конечных компонентов.

В условиях глобальной конкуренции за редкоземельные ресурсы и растущего спроса со стороны ИИ, энергетики и микроэлектроники такие решения становятся не просто научным достижением, а элементом технологического суверенитета.