

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

На правах рукописи

УДК 621.396.6

ЕРЕМИН
Александр Николаевич

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТРАССИРОВКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

по специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования
электронных систем»

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Ефименко Сергей Афанасьевич**,
кандидат технических наук, доцент, главный конструктор ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

Рецензент: **Полубок Владислав Анатольевич**,
кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер-программист Республиканского унитарного предприятия «Центр информационных технологий Национального статистического комитета Республики Беларусь»

Защита диссертации состоится «27» января 2018 г. в 10⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П.Бровки, 6, 1уч.корп., ауд. 415, тел.: 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывно возрастающая необходимость совершенствования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и электронно-вычислительной техники (ЭВТ) является следствием высоких темпов научно-технического прогресса. В процессе их создания в настоящее время тесно переплетаются вопросы разработки схемотехники, конструкции и технологии. Резко возросли требования к максимальному сокращению времени, затрачиваемого на весь цикл разработки изделий РЭА и ЭВТ. Создаваемые изделия должны быть высокого качества, технологичны и конкурентоспособны. При этом высокая степень интеграции отдельных узлов РЭА и ЭВТ и сложность инженерных решений обуславливают применение автоматизированных и автоматических методов в процессе их разработки. То есть, современное конструирование - это непрерывный творческий процесс на основе диалога человека с ЭВМ.

При построении систем автоматизированного проектирования (САПР) изделий РЭА и ЭВТ значительная роль отводится САПР печатных плат (ППЛ). На протяжении многих лет уровень интереса к этим системам достаточно высок. Это объясняется рядом причин, из которых наиболее важными являются следующие:

Многослойные ППЛ являются основным средством коммутации в самом широком смысле этого понятия в РЭА, ЭВТ, приборостроении и т.д. В ближайшее время, по всей видимости, не появятся другие виды коммутации успешно конкурирующие с ППЛ по ряду таких параметров, как технологичность, стоимость, серийность, электрические параметры и т.п.

Особое внимание в САПР ППЛ уделяется одной из самых сложных и трудоемких задач - трассировке печатных проводников. Важность этой проблемы состоит в том, что имеющееся множество алгоритмов автоматизированного решения задачи трассировки печатных проводников не обеспечивает 100% разводки ППЛ, обладающих высокой степенью интеграции и ограничением на габариты и количество слоев. Прежде всего, это относится к ППЛ, предназначенным для производства бортовой РЭА и РЭА специального назначения. При этом ручная дотрассировка или перетрассировка ППЛ приводит к неоправданному увеличению времени на разработку отдельных узлов РЭА и ставит конечный результат в зависимость от квалификации специалиста, занимающегося доводкой печатных проводников.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Актуальность выбранной тематики подтверждается опытом эксплуатации современных автоматизированных систем разработки РЭА, который показывает, что автоматические программы трассировки ППЛ хотя и позволяют уменьшить трудоемкость и сроки разработки изделий РЭА, но уступают

опытному специалисту в качестве проведения трасс. Как правило, платы, спроектированные с помощью автоматических программ трассировки, имеют меньшую плотность размещения элементов по сравнению с платами, проектированием топологии которых занимался опытный разработчик. Непременным требованием является корректировка результатов завершившейся автоматической трассировки в интерактивном режиме. Однако такая корректировка часто требует перетрассировки всей платы, что неоправданно увеличивает время ее разработки. В некоторых случаях создание ППЛ с высокой плотностью размещения элементов в ответственных блоках аппаратуры с помощью автоматических программ становится невозможным.

Степень разработанности проблемы

Ряд работ посвящен решению задачи расслоения в том случае, когда задана геометрия отдельных соединений или цепей. Фундаментальные теоретические основы указанного подхода заложены работами U. R.Kodres и J.Weissman. Вопрос об эффективности различных методов упорядочения остается дискуссионным. В работе автора С.L.Abel дана статистическая обработка результатов трассировки для двухслойной печатной платы, выполненной при использовании различных тактик упорядочения, основанных на длине соединений. Очень многие методы трассировки печатных соединений основаны на идеях волнового алгоритма С. Y.Lee. Большая группа методов трассировки печатных соединений основана на использовании представлений о магистральных. К.Mikami, К. А. Tabuchi предложили один из алгоритмов магистральной трассировки. В работе L.Mah, L.Steinberg предложен метод распределения соединений по каналам для двухслойных схем без дополнительных переходов.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является исследование и разработка методов и комплексов вычислительных алгоритмов, предназначенных для трассировки ППЛ высокой степени интеграции с ограниченным числом слоев и разнородным элементным насыщением, а также для решения конфликтов, возникающих при трассировке двух электрических цепей.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Анализ методов пространственной трассировки печатных плат, имеющих высокую степень интеграции и ограничение на количество слоев.
2. Разработка математической модели печатной платы, позволяющей формализовать условия, ограничения и критерии при пространственной трассировке.
3. Разработка математической модели печатной платы, ориентированной на применение алгоритма совместной трассировки двух пар контактных площадок, принадлежащих разным электрическим цепям.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских и белорусских ученых в области электронных устройств и автоматизированного проектирования.

Для получения теоретических результатов исследования использовались методы и алгоритмы трассировки печатных плат. А так же математическую модель печатной платы для задания монтажно-коммутационного поля.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров в данной области.

Научная новизна диссертационной работы заключается в предложении нового метода построения соединений на ППЛ, имеющих ограничение на число слоев, разработка математической модели монтажно-коммутационного поля платы, реализации алгоритма совместной трассировки двух пар КП, принадлежащих разным электрическим цепям.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Методы пространственной трассировки печатных плат.
2. Математическая модель печатной платы, ориентированная на применение методов пространственной и совместной трассировки.
3. Алгоритм совместной трассировки двух пар КП, принадлежащих разным электрическим цепям.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней предложен алгоритм и математическая модель, позволяющая провести оптимизацию процесса трассировки печатной, платы высокой степени интеграции, в автоматическом режиме.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что на основе предложенного алгоритма и математической модели может быть разработан интерактивный программный комплекс с методом пространственной трассировки, либо адаптивный модуль для имеющихся САПР.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на следующих республиканских и международных конференциях и семинарах: LXI Студенческая международная научно-практическая

конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки», Новосибирск, Россия, 2018 г.; LXII Студенческая международная научно-практическая конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки», Новосибирск, Россия, 2018 г.

Опубликование результатов диссертации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 6 печатных работах. Все 6 статей в сборниках материалов научных конференций.

Структура и объем работы.

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 114 страницы. Работа содержит 19 рисунков. Библиографический список включает 81 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы автоматизированной пространственной трассировки печатных плат, раскрыта актуальность темы диссертации, рассмотрены факторы способствующие дальнейшему развитию данного направления.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** в ходе анализа выявлено, что для автоматического решения задачи трассировки большие трудности возникают в формализации и учете факторов, влияющих на конечный результат и как следствие отсутствие строгих математических методов глобальной оптимизации. При этом ручная дотрассировка или перетрассировка ППЛ приводит к неоправданному увеличению времени на разработку отдельных узлов РЭА и ставит конечный результат в зависимость от квалификации специалиста.

Было установлено, что в основе используемых алгоритмов лежит попарное соединение точек (КП) в пределах одного слоя, что не позволяет говорить об оптимальной автоматической разводке всей многоконечной электрической цепи.

Алгоритмические методы трассировки печатных соединений в зависимости от конструкции коммутационного поля делятся на две основные группы: топографические и графо-теоретические (рисунок 1).

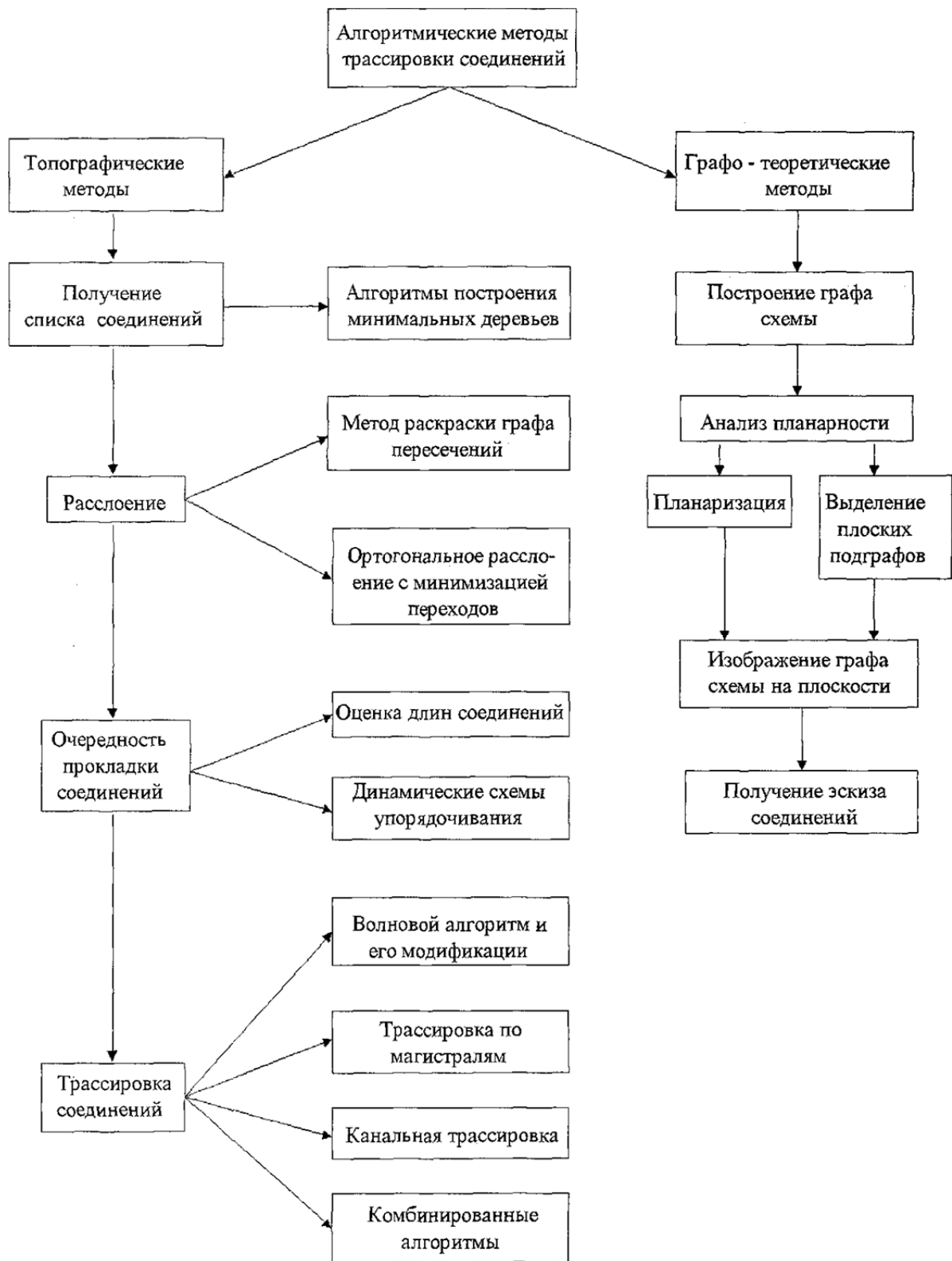


Рисунок 1 – Классификация методов трассировки

Выявлено, что используемые алгоритмы предварительного расслоения печатных проводников в случае многослойных ППЛ могут играть роль сдерживающего фактора в оптимизации трассировки, так как точное решение за-

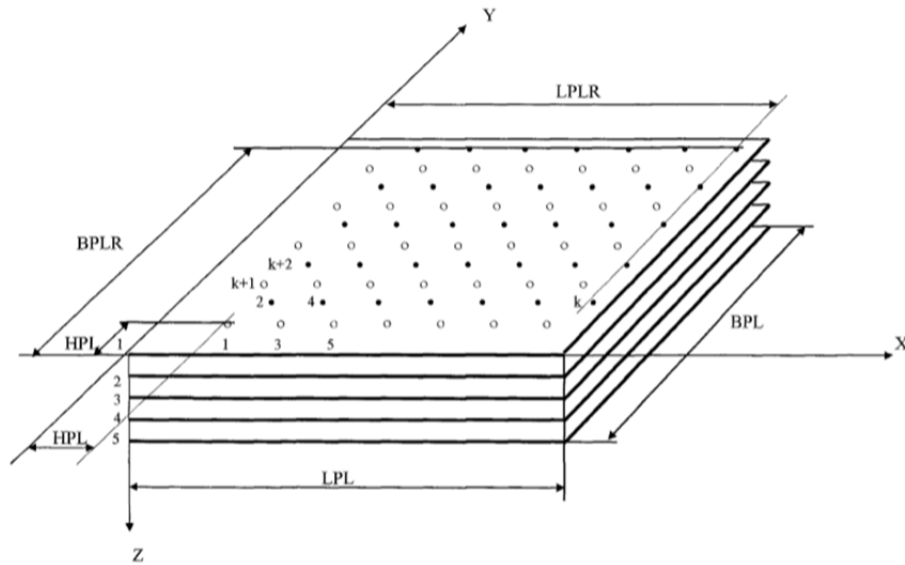
дачи расслоения для такого типа плат сопряжено с большими вычислительными трудностями. Вследствие этого используются приближенные полуэмпирические процедуры.

Установлено, что для предотвращения конфликтов между трассируемыми проводниками чаще всего используется принцип «отталкивания» трасс друг от друга. Однако такой подход дает приемлемый результат только при наличии достаточного свободного пространства для трассировки и исключает одновременную прокладку конфликтующих соединений в условиях ограниченности места трассировки.

Таким образом, исходя из проведенного анализа, проблема разработки математических методов пространственной трассировки ППЛ, которые были бы свободны от предварительных или сопутствующих полуэмпирических операций расслоения проводников и которые не требовали бы предварительной разбивки многоконечной электрической цепи на упорядоченные пары контактных площадок и выбора очередности соединения этих пар. Такие методы представляют собой шаг в сторону глобальной оптимизации. Кроме того, весьма важной является задача разработки математических методов решения конфликтных ситуаций, возникающих при дотрассировке или перетрассировке двух или нескольких электрических цепей.

Во **второй главе** установлено, что в основе подавляющего большинства алгоритмов трассировки ППЛ лежат планарные представления об используемых математических моделях ППЛ. В то же время появились работы в которых предприняты попытки перевести задачу трассировки ППЛ из планарной области в объемную, способствуя тем самым повышению процента трассируемых соединений. В этой связи предложена математическая модель монтажно-коммутационного поля платы, позволяющая представлять ППЛ в виде пространственного регулярного графа (рисунок 2). В рамках этой модели разработан способ представления технологических данных, позволяющий рационально использовать оперативную память ЭВМ.

Согласно анализу, процессу трассировки печатных проводников сопутствует задача разнесения соединений по слоям. Выполнение предварительного расслоения оказывается наиболее эффективным для многослойных схем. Обобщенное решение этой задачи для неограниченного числа слоев дано в работах. Однако реализация этого метода на ЭВМ в САПР многослойных ППЛ связана с большими временными затратами и на практике используются приближенные полуэмпирические процедуры. Учитывая эти обстоятельства, в рамках предложенной математической модели монтажно-коммутационного поля ППЛ разработан математический аппарат фиктивных длин, обеспечивающий автоматическую послойную приоритетность направлений трассировки без ограничения количества слоев.



- Опорный столбец, образованный основными вершинами;
- Опорный столбец, образованный вспомогательными вершинами

Рисунок 2 – Модель монтажно-коммутационного поля ППЛ

Подавляющего большинства алгоритмов трассировки ППЛ лежит процедура построения лишь элементарных соединений (между двумя точками). Поэтому для автоматической реализации требуется предварительно задавать очередность прокладки соединений внутри самой цепи. В основе подхода, обеспечивающего задание очередности, лежат в основном эвристические соображения. В этой связи разработан метод пространственной прокладки печатных проводников на ППЛ без ограничения количества слоев, гарантирующий построение в 3-мерном пространстве трассы, если только она существует. Метод обеспечивает одновременную трассировку всей электрической цепи, что позволило отказаться от предварительной разбивки цепи на упорядоченные пары и от выбора последовательности трассировки этих пар.

Заложенные в основу метода пространственной трассировки исходные представления выражены абстрактными категориями теории множеств и теории графов, что позволяет использовать предлагаемый подход для решения широкого класса коммуникационных задач большой размерности.

В третьей определено, что обширное множество существующих алгоритмов автоматизированного решения задачи трассировки не обеспечивает 100% разводки на печатных платах высокой степени интеграции с ограниченным числом слоев, а ручная дотрассировка влечет за собой большие временные затраты, в настоящей главе предложен математический метод решения конфликта, возникающего при трассировке двух пар КП, принадлежащих разным электрическим цепям.

Для реализации данного метода разработана математическая модель ППЛ, отличающаяся тем, что ППЛ представляется в виде множества макро-дискрет, образующих регулярный пространственный граф. В рамках предло-

женной модели реализуется автоматическая послойная приоритетность направлений разводки (рисунок 3, 4).

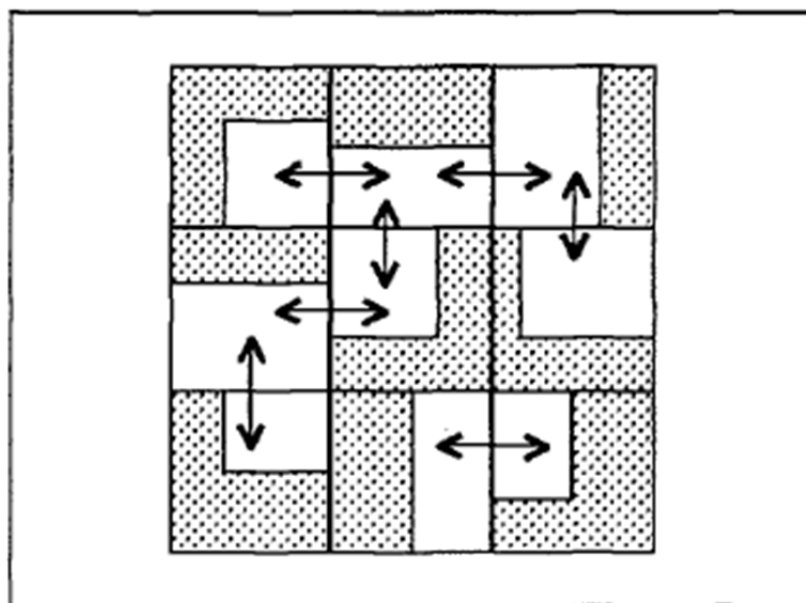


Рисунок 3 – Фрагмент взаимного расположения макродискрет

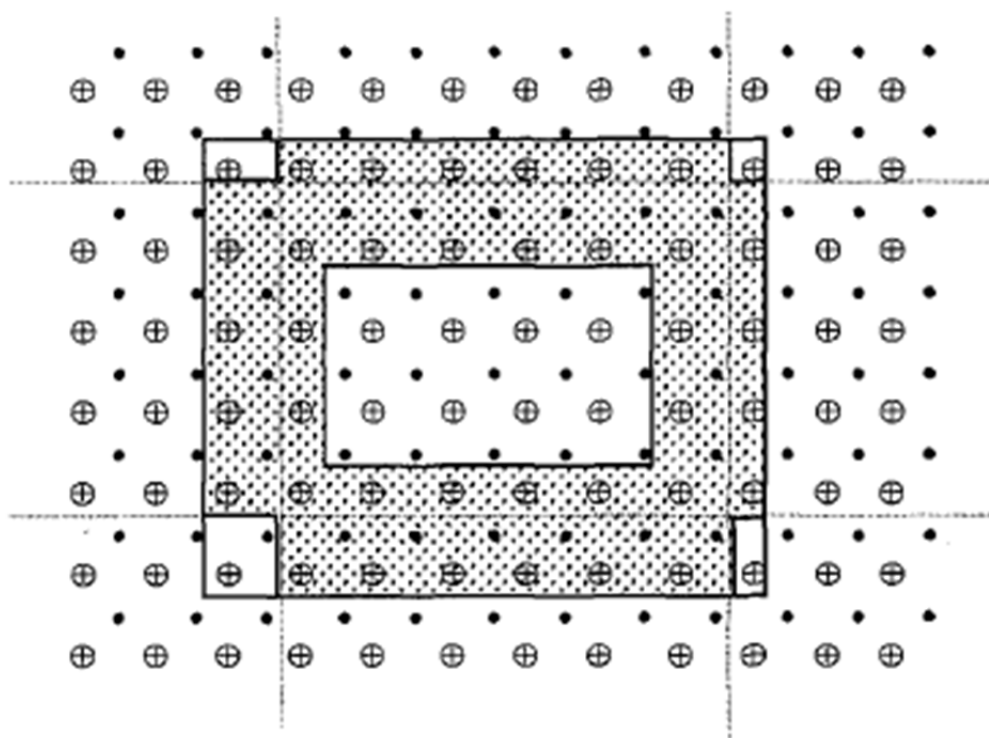


Рисунок 4 – Схема анализа границ макродискрета

Предлагаемый метод предназначен прежде всего для решения задачи дотрассировки. Применение его в качестве базового не представляется в данный момент целесообразным ввиду того, что при его использовании возникает вопрос об упорядоченности трассируемых пар КП, а также ввиду более значительных временных затрат по сравнению с базовым алгоритмом.

Разработанный алгоритм совместной трассировки двух пар КП, принадлежащих разным электрическим цепям предназначен для применения в комплексе с алгоритмом пространственной трассировки, идея которого изложена в главе 2. Оба алгоритма ориентированы на единую информационную базу и имеют общие математические представления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам проведенного анализа установлено, что при автоматической трассировке большие трудности возникают в формализации и учете факторов, влияющих на конечный результат. В этой связи отсутствуют строгие математические методы глобальной оптимизации. На практике большинство методов предполагает ручную дотрассировку или перетрассировку ППЛ, что приводит к увеличению времени на разработку.

2. В процессе анализа установлено, что в основе подавляющего большинства применяемых алгоритмов трассировки печатных проводников лежит попарное соединение точек (КП) в пределах одного слоя, что не позволяет говорить об оптимальной автоматической разводке всей многоконечной электрической цепи.

3. В аналитическом обзоре отмечено, что большинству алгоритмов лежат планарные представления о математических моделях ППЛ. В этой связи предложена математическая модель платы, представляющая ППЛ в виде пространственного регулярного графа. В рамках этой модели разработан способ представления технологических данных, позволяющий рационально использовать оперативную память ЭВМ.

4. Установлено, для снижения процента неразведенных соединений, а также для предотвращения конфликтов между трассируемыми проводниками чаще всего используется принцип "отталкивания" трасс друг от друга. Однако такой подход дает приемлемый результат только при наличии достаточного свободного пространства для трассировки и исключает одновременную прокладку конфликтующих соединений в условиях ограниченности места.

5. В основе большинства алгоритмов происходит построение лишь между двумя точками. Поэтому для автоматической реализации требуется предварительно задавать очередность прокладки соединений внутри самой цепи. В основе подхода, обеспечивающего задание очередности лежат в основном эвристические соображения. В этой связи разработан метод пространственной прокладки печатных проводников на ППЛ без ограничения количества слоев, гарантирующий построение в 3-мерном пространстве трассы, если

только она существует. Метод обеспечивает одновременную трассировку всей электрической цепи, что позволило отказаться от предварительной разбивки цепи на упорядоченные пары и от выбора последовательности трассировки этих пар.

6. В процессе трассировки печатных проводников возникает необходимость разнесения соединений по слоям. Выполнение расслоения наиболее эффективно для многослойных схем. Реализация этого метода в САПР для многослойных ППЛ связана с большими временными затратами и на практике используются приближенные полуэмпирические процедуры. Учитывая эти обстоятельства, для предложенной математической модели разработан математический аппарат фиктивных длин.

7. В связи с тем, что существующие алгоритмы не обеспечивает 100% разводки печатных плат с высокой степенью интеграции при ограниченном числе слоев, предложен метод для решения конфликта, возникающего при трассировке двух пар КП, относящимся к разным электрическим цепям. Метод предназначен для решения задачи дотрассировки. Предложенный метод предназначен для применения в комплексе с методом пространственной трассировки. Оба метода имеют общие математические представления.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в сборниках материалов научных конференций

[1] Еремин, А.Н. Канальные алгоритмы трассировки печатных плат / А.Н. Еремин // LXI Студенческая международная научно-практическая конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки», Новосибирск, Россия, 16.01.2018 г. / АНС «СибАК», – Новосибирск, 2018. – принято в печать

[2] Еремин, А.Н. Комбинированные алгоритмы трассировки печатных плат / А.Н. Еремин // LXI Студенческая международная научно-практическая конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки», Новосибирск, Россия, 16.01.2018 г. / АНС «СибАК», – Новосибирск, 2018. – принято в печать

[3] Еремин, А.Н. Магистральные алгоритмы трассировки печатных плат / А.Н. Еремин // LXI Студенческая международная научно-практическая конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки», Новосибирск, Россия, 16.01.2018 г. / АНС «СибАК», – Новосибирск, 2018. – принято в печать

[4] Еремин, А.Н. Метод расслоения печатных плат / А.Н. Еремин // LXII Студенческая международная научно-практическая конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки», Новосибирск, Россия, 18.01.2018 г. / АНС «СибАК», – Новосибирск, 2018. – принято в печать

[5] Еремин, А.Н. Аппарат фиктивных длин модели печатной платы / А.Н. Еремин // LXII Студенческая международная научно-практическая конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки», Новосибирск, Россия, 18.01.2018 г. / АНС «СибАК», – Новосибирск, 2018. – принято в печать

[6] Еремин, А.Н. Очередность прокладки соединений печатных плат / А.Н. Еремин // LXII Студенческая международная научно-практическая конференция «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки», Новосибирск, Россия, 18.01.2018 г. / АНС «СибАК», – Новосибирск, 2018. – принято в печать

РЕЗЮМЕ

Еремин Александр Николаевич

Математические модели и алгоритмы пространственной трассировки печатных плат

Ключевые слова: алгоритм трассировки, математическая модель, печатная плата.

Цель работы: исследование и разработка методов и комплексов вычислительных алгоритмов, предназначенных для трассировки печатных плат высокой степени интеграции с ограниченным числом слоев и разнородным элементным насыщением, а также для решения конфликтов, возникающих при трассировке двух электрических цепей.

Полученные результаты и их новизна: предложен новый метод построения соединений на печатной плате, имеющих ограничение на число слоев. В отличие от распространенных подходов, печатная плата рассматривается не как множество слоев, по которым прокладываются предварительно распределенные печатные проводники, а как единый пространственный регулярный граф, на котором прокладывается оптимальный маршрут. Разработана математическая модель монтажно-коммутационного поля платы, ориентированная на применение метода пространственной трассировки и отличающаяся тем, что в ее рамках автоматически реализуется послойная приоритетность направлений соединений и заполнение слоев печатной платы трассами печатных проводников осуществляется сверху вниз по принципу максимального использования полезной площади для трассировки. Предложен новый математический метод решения конфликтных ситуаций, возникающих при до-трассировке электрических цепей. Метод отличается тем, что одновременно трассируются две пары контактных площадок, принадлежащие разным электрическим цепям, с учетом их взаимного не пересечения. Для реализации алгоритма совместной трассировки двух пар контактных площадок, принадлежащих разным электрическим цепям разработана математическая модель печатной платы, отличающаяся тем, что в целях понижения размерности задачи печатная плата представляется множеством макродискрет, образующих регулярный пространственный граф, на котором реализуется принцип пространственной трассировки, примененный к двум электрическим цепям сразу.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники в лекционные курсы «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств» и «Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов».

Область применения: полупроводниковая промышленность.

РЭЗІЮМЭ

ЯромінАляксандрМікалаевіч

Матэматычныямадэлі і алгарытмыпрасторавай трасіроўкідрукаваных плат

Ключавыясловы: алгарытмтрасіроўкі, матэматычнаямадэль, друкаваная плата.

Мэтапрацы: даследаванне і распрацоўкаметадаў і комплексаўвылічальныхалгарытмаў, прызначаных для трасіроўкідрукаваныхплатвысокайступеніінтэграцыі з абмежаванайколькасцюслаёў і разнастайным элементарным насычэннем, а таксама для вырашэнняканфліктаў, якіяўзнікаюцьпрытрасіроўцы двух электрычныхланцугоў.

Атрыманыявынікі і іхнавізна: прапанаваны новы метадабудовызлучэнняў на друкаванай плаце, якіямаюцьабмежаванне на колькасціслаёў. У адрозненне ад распаўсюджаныхпадаходаў, друкаваная плата разглядаецца не як мностваслаёў, па якіхпракладваюццапапярэдняразмеркаваныядрукаваныяправаднікі, а як адзіныпрасторавырэгулярны граф, на якімракладваеццааптымальны маршрут.Распрацаванаматэматычнаямадэльмантажнакамутацыйнагаполяплаты, арыентаванаянапрымяненнеметадупрасторавайтрасіроўкі і адрознаятым, што уяерамкахаўтаматычнарэалізуеццапаплатовапрыярытэтносцьнапрамаўзлучэнняў і запаўненнеслаёўдрукаванайплатытрасамідрукаваныхправадыроўажыццяўляеццазверхуўнізпапрынцыпемаксімальнагавыкарыстаннякарыснайплошчыдлятрасіроўкі.Прапанаваныновыяматэматычныметадрашэнняканфліктныхсітуацый, якіяўзнікаюцьпрыдотрасіроўкеэлектрычныхланцугоў.Метададрозніваеццатым, штоадначасоватрасіруючымідзвепары КП, якіяналежацьрознымэлектрычнымланцугам, з улікаміхўзаемнаганяперасячэння.Длярэалізацыіалгарытмусумеснайтрасіроўкідвухпар КП, якіяналежацьрознымэлектрычнымланцугамраспрацаванаматэматычнаямадэльдрукаванайплаты, адрознаятым, што ў мэтахпаніжэнняпамернасцізадачыдрукаванаяплатаўяўляеццапамянжацца-кіраўніцтвамакродискрет, якіяўтвараюцьрэгулярныпрасторавыграф, наякімрэалізуеццапрынцыппрасторавайтрасіроўкі, ужытыдадвумэлектрычнымланцугахадразу.

Ступеньвыкарыстання: вынікіўкаранёныўнавучальныпрацэсБеларускайдзяржаўнагауніверсітэтаінфарматыкіірадыёэлектронікіўлекцыійныхкурсы «Фізічныяасновыпраектаваннярадыёэлектронныхсродкаў» і «Праграмаезабеспячэннеінжынернагамадэляванняфізічныхпрацэсаў».

Вобласцьужывання: паўправадніковаяпрамысловасць.

SUMMARY

EreminAlexanderNikolaevich

Mathematical models and algorithms of spatial trace of printed circuit boards

Keywords: trace algorithm, mathematical model, printed circuit board.

Objective: research and development of methods and complexes of computational algorithms intended for trace of printed circuit boards of high degree of integration with a limited number of layers and heterogeneous element saturation, as well as for solving conflicts arising during the tracing of two electrical circuits.

The results and their novelty: the new method of construction of connections on a printed circuit board having a restriction on the number of layers is proposed. Unlike common approaches, a printed circuit board is considered not as a set of layers on which pre-distributed printed conductors are laid, but as a single spatial regular graph on which the optimal route is laid. A mathematical model of the board's wiring-switching field has been developed, which is oriented to the application of the spatial trace method and is characterized by the fact that the layer wise priority of the connection directions is automatically realized and the layers of the printed circuit board are filled with traces of printed conductors from top to bottom according to the principle of maximum use of the useful area for tracing. A new mathematical method for solving conflict situations arising during the addition of electric circuits is proposed. The method differs in that two pairs of contact pads belonging to different electric circuits are simultaneously traced, taking into account their mutual non-intersection. To implement the algorithm for joint tracing of two pairs of contact pads belonging to different electrical circuits, a mathematical model of a printed circuit board is developed, characterized in that in order to reduce the dimensionality of the problem the printed circuit board is represented by a set of macrodiscrete forming a regular spatial graph on which the spatial trace principle applied to two electric circuits immediately.

Use degree: results are introduced in the educational process of the Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics in the "Physical fundamentals of designing radio-electronic means" lecture courses and "software engineering physics simulation."

Field of application: semiconductor industry