

УДК 004.421.2

ЛОКАЛЬНАЯ МИНИМИЗАЦИЯ ЧИСЛА МЕЖСЛОЙНЫХ ПЕРЕХОДОВ
В ТОПОЛОГИИ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

С.Ю. Лузин, С.И. Попов, Ю.И. Попов

Предложен алгоритм локальной минимизации числа межслойных переходов на многослойной печатной плате. Подход, основанный на анализе топологии окрестностей пары смежных переходов, учитывает возможности перекладки проводников, препятствующих переносу конкретного проводника на конкретный слой. Случаи, когда переходы не являются смежными (на пути от одного перехода к другому есть планарный контакт или точка ветвления без перехода), сведены к случаю смежных переходов. Проанализированы некоторые недостатки последовательной прокладки проводников и методов минимизации числа межслойных переходов, основанных на переносе фрагментов проводника на другой слой. Алгоритм реализован и внедрен в российскую систему автоматизированного проектирования ТороR. В работе приведены результаты сравнения трассировки нескольких печатных плат с использованием алгоритма и без него. На тестовых примерах многослойных печатных плат использование предложенного алгоритма позволило дополнительно на 3–11% уменьшить число межслойных переходов.

Ключевые слова: САПР, автоматическая трассировка, ТороR, минимизация числа межслойных переходов.

Введение

В большинстве систем автоматизированного проектирования печатного монтажа задача автоматической трассировки межсоединений сводится к задаче последовательного поиска путей между парами точек в «лабиринте», образованном контактами, запретами и уже проложенными проводниками, при этом найденный путь фиксируется и становится частью лабиринта.

Главный недостаток последовательной прокладки проводников – сильная зависимость результата от порядка, в котором выбираются проводники. Основным механизмом оптимизации разводки является последовательная перекладка отдельных проводников – поочередное удаление и проведение их более дешевыми путями (или старым путем, если более дешевого пути не нашлось). Под стоимостью пути здесь понимается интегральный критерий, учитывающий различные факторы (длину проводника, количество переходов проводника со слоя на слой, количество нарушений проектных норм и т.д.): $S = \sum k_i x_i$, где S – стоимость пути, x_i – величина i -го фактора, k_i – коэффициент при факторе, $k_i x_i$ – штраф за величину фактора, $\sum k_i = 1$.

К сожалению, эффективная функция стоимости может быть различна не только для разных плат, но даже и для разных областей одной платы, поэтому надежда на то, что удастся подобрать идеальные коэффициенты, несбыточна.

Проблема «застревания» в локальном минимуме, когда качество разводки еще далеко от идеального, но никакая перекладка одиночного проводника не может улучшить качество разводки, стоит очень остро во всех системах автоматизированного проектирования (САПР), использующих последовательную оптимизацию. В САПР ТороR [1, 2] при трассировке печатных плат все трассы предварительно прокладываются в одной плоскости (совмещенная топология), а затем решается задача расслоения с минимизацией числа межслойных переходов. Эффективный алгоритм решения этой задачи для случая двух слоев приведен в работе [3]. В ней строится граф доменов. В графе вершины (домены) соответствуют точкам пересечения пары проводников, а ребра – участкам проводников между точками пересечения. Граф является планарным. Пусть n – число вершин в графе, m – число ребер в графе. В работе приведены правила редукции графа доменов, которые за $O(n + m)$ позволяют сильно уменьшить его размер (на практике – до одной вершины). Далее обратным преобразованием (также за линейное время) граф доменов восстанавливается. В процессе восстановления находится наибольший отрицательный разрез, соответствующий минимальному необходимому числу межслойных переходов. В результате также становится известно, на каком именно отрезке какого проводника необходимо поставить переход.

В основе метода из [3], как и других методов минимизации числа межслойных переходов, лежит перенос фрагментов проводника на другой слой. Однако данный алгоритм, как и другие (например, [4]), не учитывает возможности изменения топологии проводников и дополнительного сокращения числа переходов соответственно.

На основе анализа топологической ситуации на отдельном участке платы можно решать ряд задач локальной оптимизации топологии проводников: устранять «клинчи» проводников [5], петли и полупетли на многослойных платах. В настоящей работе предложен алгоритм локальной минимизации числа межслойных переходов на многослойной плате, основанный на анализе топологии окрестностей пары смежных переходов.

Алгоритм локальной минимизации числа переходов

Если в цепи имеются смежные переходы v и u и длина соединяющего их проводника менее заданной (например, 10 мм), следует:

1. получить списки L_v и L_u слоев, на которых расположены проводники, инцидентные v и u соответственно, исключая проводник, соединяющий v и u ;
2. получить список L_{cross} слоев, на которых расположены проводники, пересекающие (на совмещенной топологии) проводник в пути, соединяющем v и u ;
3. если $L_{cross} \cap (L_v \cap L_u) \neq \emptyset$ (локальная оптимизация невозможна), перейти к следующей паре смежных переходов;
4. определить, можно ли скопировать проводник, соединяющий v и u , на все слои L_v и L_u ;
5. если невозможно скопировать ни на L_v , ни на L_u , перейти к следующей паре смежных переходов;
6. иначе, если возможно скопировать и на L_v и на L_u , то выбрать тот переход (v), для которого $|L_v \cap L_{cross}| \leq |L_u \cap L_{cross}|$;
7. иначе выбрать переход (v), для которого возможно скопировать проводник (на L_v);
8. если $L_v \cap L_{cross} \neq \emptyset$ (рис. 1):
 - 8.1. в слоях $L_v \cap L_{cross}$ завести за u проводники, пересекающие проводник, соединяющий v и u ;
 - 8.2. если диапазон слоев перехода u не содержит какие-либо слои из L_v , сменить тип перехода u на тип, содержащий $L_v \cup L_u$;
 - 8.3. скопировать проводник, соединяющий v и u , на слои L_v ;
9. удалить исходный проводник, соединяющий v и u ;
10. удалить переход v ;
11. перейти к следующей паре смежных переходов.

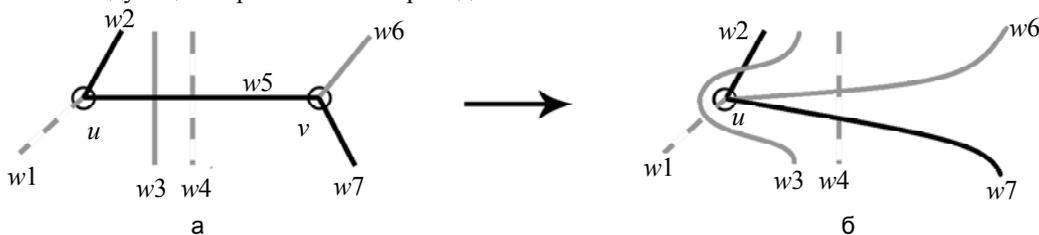


Рис. 1. Устранение лишнего перехода: топология до устранения перехода (а); топология после устранения перехода (б). Проводники серого ($w3$, $w6$), черного цветов ($w2$, $w5$, $w7$) и проводники, представленные штриховой линией ($w1$, $w4$), находятся на трех разных слоях соответственно. u , v – переходы

Расширение алгоритма для случая несмежных переходов

Приведенный выше алгоритм анализирует топологическую ситуацию в окрестности пары смежных межслойных переходов. В некоторых случаях избыточные межслойные переходы не являются смежными (на пути от одного перехода к другому есть планарный контакт или точка ветвления без перехода). Ниже показано, как свести эти случаи к уже рассмотренному, в котором переходы являются смежными.

Если путь от одного перехода до другого включает планарный контакт, один из проводников, инцидентных контакту, отключается от контакта и подключается к другому проводнику, инцидентному контакту, при этом создается точка ветвления (рис. 2).

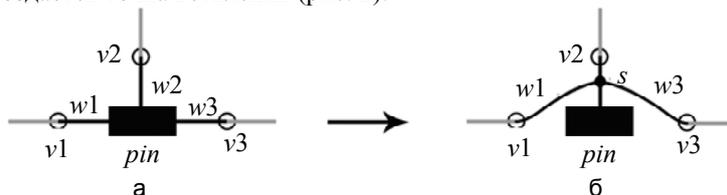


Рис. 2. Замена трех подключений к планарному контакту на одно: три проводника подключены к планарному контакту (а); добавлена точка ветвления (б). $w1$, $w2$, $w3$ – проводники; $v1$, $v2$, $v3$ – переходы; s – точка ветвления; pin – контакт

Если путь от одного перехода до другого включает точки ветвления проводников, дублируется путь от каждой точки ветвления до ближайшего перехода. В этом случае переходы станут смежными. Затем устраняются точки ветвления. Пример с одной точкой ветвления показан на рис. 3.

Впоследствии местоположение переходов корректируется силовым алгоритмом (величина и направление сил зависит от проводников в окрестности переходов) [6].

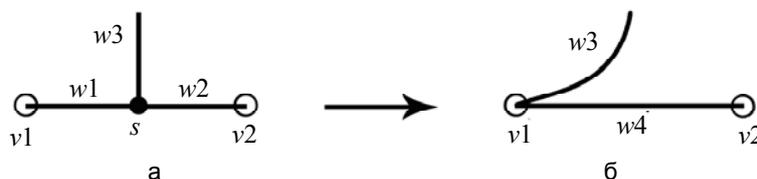


Рис. 3. Дублирование пути между переходом и точкой ветвления: переходы несмежные из-за точки ветвления (а); переходы стали смежными (б). w_1 , w_2 , w_3 – проводники; v_1 , v_2 – переходы; s – точка ветвления

Практическое применение

Рассмотренный выше алгоритм вместе с его расширением для несмежных переходов реализован и внедрен в российскую САПР ТороR. Экспериментальные результаты для нескольких печатных плат, разведенных с помощью САПР ТороR без использования и с использованием алгоритма локальной минимизации, приведены в таблице.

| Параметр | Имя печатной платы | | | |
|---|--------------------|-----|--------|-------|
| | ARZ | ARM | BOARD3 | TRASS |
| Количество компонентов | 141 | 139 | 253 | 520 |
| Количество контактов | 762 | 798 | 2588 | 3933 |
| Количество цепей | 121 | 187 | 548 | 758 |
| Количество слоев | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Количество межслойных переходов при использовании только одиночной перекладки проводников и алгоритма [3] | 243 | 220 | 1297 | 1898 |
| Количество межслойных переходов с использованием локальной минимизации | 215 | 203 | 1259 | 1702 |
| Разница в числе межслойных переходов | 28 | 17 | 38 | 196 |
| Уменьшение числа переходов в % | 11,5 | 7,7 | 2,9 | 10,3 |

Таблица. Экспериментальные результаты применения алгоритма локальной минимизации числа межслойных переходов

Как видно из приведенных результатов, алгоритм позволяет получить дополнительное сокращение числа межслойных переходов на многослойных печатных платах. Эффективность предложенного алгоритма существенно зависит от доли многоконтактных цепей на конкретной плате.

Заключение

Описан алгоритм локальной минимизации числа межслойных переходов. На тестовых примерах многослойных плат использование алгоритма локальной минимизации числа переходов позволило дополнительно на 3–11% уменьшить число межслойных переходов. Уменьшение числа межслойных переходов позволяет сократить стоимость изготовления печатной платы, высвободить место на плате для прокладки других трасс.

Литература

1. Luzin S., Polubasov O. Advantages of Isotropic PCB Routing // Printed Circuit Design & Fab. – 2009. – № 6. – P. 38–40.
2. Polubasov O. Routing Concepts of a Topological Router CAD System // Onboard Technology. – 2011. – № 5. – P. 11–15.
3. Полубасов О.Б. Глобальная минимизация количества межслойных переходов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2001. – № 2. – С. 3–9.
4. The Khe-Sing, Wong D.F. and Cong Jingsheng. A Layout Modification Approach to Via Minimization // IEEE Trans. Computer-Aided Design. – Apr. 1991. – V. 10. – № 4. – P. 536–541.
5. Лузин С.Ю., Попов С.И., Попов Ю.И. Автоматизация устранения клинчей в топологии печатного монтажа // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 4 (80). – С. 116–121.

6. Лузин С.Ю., Лячек Ю.Т., Петросян Г.С., Полубасов О.Б. Модели и алгоритмы автоматизированного проектирования радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры. – СПб: БХВ-Петербург, 2010. – 224 с.

- Лузин Сергей Юрьевич* – Россия, Санкт-Петербург, ООО «ЭРЕМЕКС», доктор технических наук, технический директор, luzin@eremex.com
- Попов Сергей Игоревич* – Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант; ООО «ЭРЕМЕКС», инженер-программист; sergey.popove@yandex.ru
- Попов Юрий Игоревич* – Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант; ООО «ЭРЕМЕКС», инженер-программист; yurpopov@rambler.ru

УДК.629.7.05

ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ И ОТОБРАЖЕНИЯ МАССИВА ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ НА ЭКРАН СРЕДСТВ БОРТОВОЙ ИНДИКАЦИИ

П.П. Парамонов, М.О. Костишин, И.О. Жаринов, В.А. Нечаев, С.А. Сударчиков

Рассматривается проблема создания автоматизированного рабочего места подготовки, хранения и загрузки геоинформационных данных и полетного задания в бортовую систему картографической информации. Анализируются принципы формирования геоинформационных данных, предлагается унифицированный формат хранения данных и команд, составляющих в совокупности массив картографической информации. Приводится описание программного компонента, входящего в состав рабочего места. Предлагается новая структура бортовой системы картографической информации, отличающейся интегрированным в единый моноблок конструктивным исполнением. Предложенные в работе технические решения апробированы на практике.

Ключевые слова: геоинформационный ресурс, цифровой массив данных, отображение.

Введение

Непрерывный рост интенсивности воздушного движения определяет потребности общества в поиске новых способов представления пилотажно-навигационной информации на борту современных летательных аппаратов (ЛА). Перспективным направлением развития авиационного оборудования является подход [1] на основе отображения геоинформационных данных на средствах бортовой индикации. Геоинформационные данные представляют собой совокупность топогеодезических, аэронавигационных, гидрометеорологических, оперативно-тактических данных и некоторых других видов данных.

Топогеодезические данные содержат информацию об основных элементах ландшафта местности, таких как рельеф, населенные пункты, дороги, растительный покров, промышленные и социально-культурные сооружения и т.п. Аэронавигационные данные включают информацию о воздушных трассах, аэродромах и их оборудованию, об опасных и ограничительных зонах полета и т.п. Гидрометеорологические данные включают информацию о погодных условиях над территорией полета, гидрометеорологические наблюдения, сведения об опасных гидрометеорологических процессах и явлениях и т.п. Оперативно-тактические данные включают тактические особенности различных районов, зданий, сооружений и т.п., отображаемые при выполнении специальных задач.

Для работы с геоинформационными данными на борту ЛА в состав бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) должна входить специализированная бортовая система картографической информации (БСКИ), предназначенная для хранения и вывода на средства бортовой индикации геоинформационного массива данных [2]. В настоящее время известны различные технические решения по разработке узлов и подсистем БСКИ, однако широкомасштабного внедрения геоинформационных ресурсов в состав БРЭО ЛА пока не произошло. Известны, например, разработки:

- Санкт-Петербургского ОКБ «Электроавтоматика» – система «БСКИ», осуществляющая хранение и вывод геоинформационных данных на экран бортового индикатора класса МФЦИ (многофункциональный цветной индикатор);
- ОАО «РПКБ «Раменское» – наземный унифицированный комплекс детального планирования действий авиации и подготовки полетных заданий, обеспечивающий планирование действий для решения задач навигации, патрулирования.

Зарубежные компании Honeywell, Harris Corporation, Rockwell Collins также работают над реализацией проектов («The right information, Right now») комплексной геоинформационной поддержки задач пилотирования. Однако существенным недостатком всех известных технических решений является низкий уровень автоматизации процессов подготовки, хранения и воспроизведения на средствах бортовой