

УДК 621.382

Р. Мельник, Т. КоротєєваНаціональний університет “Львівська політехніка”,
кафедра програмного забезпечення**КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ МАКРОТРАСУВАННЯ
ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ МАТРИЦЬ**

© Мельник Р., Коротєєва Т., 2001

Розглянуто проблеми трасування програмованих логічних матриць в умовах багатокритеріальності. Аналізуються результати експериментальних досліджень комплексу макротрасування.

Вступ

Ряд сучасних інтегральних мікросхем базуються на програмованих логічних матрицях (ПЛМ), які дозволяють на замовлення реалізувати певну логіку. Одним з етапів проектування ПЛМ є процес проведення з'єднань, показниками якості якого є:

- 1) 100 % реалізація з'єднань;
- 2) мінімізація максимальної ширини каналів або мінімізація кількості задіяних магістралей в каналі;
- 3) мінімізація сумарної довжини з'єднань схеми;
- 4) мінімізація довжини шляхів “джерело – ціль”, для всіх з'єднань або радіус схеми.

При формулюванні задачі трасування ПЛМ необхідно взяти до уваги:

- Типовий проект повинен бути поділений на розділи та відображений на декількох ПЛМ. Зменшення затримки розповсюдження сигналу досягається через використання найбільш прямих з'єднань, тобто пошуку найкоротших шляхів в задачі Штейнера. Мінімізація загальної довжини провідників приводить до зменшення ємності схеми і збереження ресурсів трасування.

- На розміри логічної матриці прямо пропорційно впливає значення ширини каналів з'єднання. Мінімізація максимальної ширини каналів дозволяє щільніше упаковувати логічні елементи матриці та зменшувати її розміри.

- Архітектура ПЛМ пропонує обмежений дискретний набір фіксованих каналів з'єднань.

1. Стратегії трасування ПЛМ

Архітектура ПЛМ реалізована прямокутним масивом логічних блоків та множини програмованих ресурсів з'єднань, на перетині яких розміщені блоки перемикачів. Архітектура ПЛМ дозволяє як математичну модель використати граф-сітку $G(V,E)$, в якому множина вершин V відповідає множині блоків перемикачів, а множина ребер E – множині фрагментів каналів ресурсів з'єднань. Вага ребра e_{ij} , яке з'єднує вершини v_i та v_j – це є функція від декількох змінних, одна з яких дорівнює кількості ресурсів даного фрагмента каналу або його пропускній здатності, а друга – геометричній відстані між двома блоками перемикачів. Логічний блок закріплюється за певним фрагментом каналу, на який цей логічний блок має направлений вивід, тобто встановлюється відповідність: контакт логічного блоку – ребро e' графа G .

Математичне формулювання задачі. Для множини ребер E' на графі $G(V,E)$ необхідно побудувати мінімальне зв'язуюче дерево (МЗД).

Ця задача є багатокритеріальна. Основними критеріями якості побудованих дерев є:

- 1) сумарна довжина дерева;
- 2) довжина окремих фрагментів дерева або шляхів “джерело-контакт”;
- 3) кількість поворотів (на 90°) у дереві;
- 4) пропускна здатність ребер, що увійшли в побудоване дерево. До того ж, перші три функції під час побудови дерева мають бути мінімізовані, а четверта функція – максимізована. Цей критерій загалом сприяє рівномірному завантаженню каналів трасами і, відповідно, зменшує максимальну ширину каналів.

При побудові дерев використовується модифікований хвильовий алгоритм [1]. Область пошуку дерев обмежується координатами прямокутника, що охоплює всі ребра-контакти даного ланцюга.

Для зменшення затримки розповсюдження сигналу при побудові дерев для даної множини ребер-контактів визначається ребро-джерело, від якого будуть будуватись фрагменти дерева до решти ребер-контактів. Існує декілька стратегій визначення ребра-джерела:

- від геометричного центру прямокутника, що охоплює ребра-контакти;
- від групи контактів: ребро-джерело визначається, як ребро-контакт, що найближче розташоване до геометричного центра прямокутника для цієї групи;
- між групами контактів: якщо таких груп є більше ніж одна, то в межах кожної групи проводять з'єднання, а потім групи з'єднують між собою.

Рис. 2 ілюструє перевагу другої стратегії вибору ребра-джерела над першою, яка приводить в подальшому до зменшення довжин фрагментів “джерело-контакт” та зменшення сумарної довжини траси.

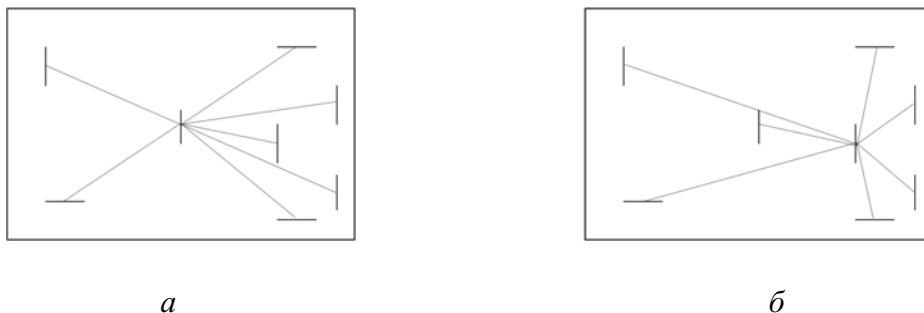


Рис. 2. Схема з'єднань контактів при виборі ребра-джерела:

a – за стратегією “від геометричного центра”; *б* – за стратегією “від групи контактів”

Процес поширення хвилі базується на суміжності ребер в графі. МЗД будується пофрагментно. На першому кроці будується фрагмент між ребром-джерелом і найближчим до нього ребром-контактом. На подальших кроках існують різні стратегії побудови фрагментів МЗД, а саме: 1) наступні фрагменти будуються від ребра-джерела до найближчих ребер-контактів; 2) наступні фрагменти будуються від вже побудованого фрагмента МЗД до найближчого ребра-контакта. Процес в обох випадках продовжується, поки всі ребра-контакти не будуть розглянуті.

Реалізація хвильового алгоритма на сучасних комп'ютерних засобах стає дедалі простішою. Розміри ПЛМ значно менші за розміри вихідних інтегральних схем, але і їх реалізація вимагає значних ресурсів. Тому на певних кроках хвильового алгоритму доцільно використати декомпозиційний підхід до фрагментів ПЛМ, а саме розбиття простору пошуку на частини. Проміжною точкою (ПТ) прямокутник розбивається на менші частини. Як варіант, точкою розбиття приймається геометричний центр прямокутника. Це дозволяє оптимізувати процес поширення хвилі, звзити її простір поширення, залишаючись в межах найкращого рішення. Процес не є однокроковим. Введення проміжних точок можна продовжити до отримання прямокутника бажаних критичних розмірів. Кожна нова проміжна точка фіксується як додатковий контакт ланцюга, але в кінцевому результаті розглядається як звичайне ребро з множини ребер, що формують трасу ланцюга (рис. 3).

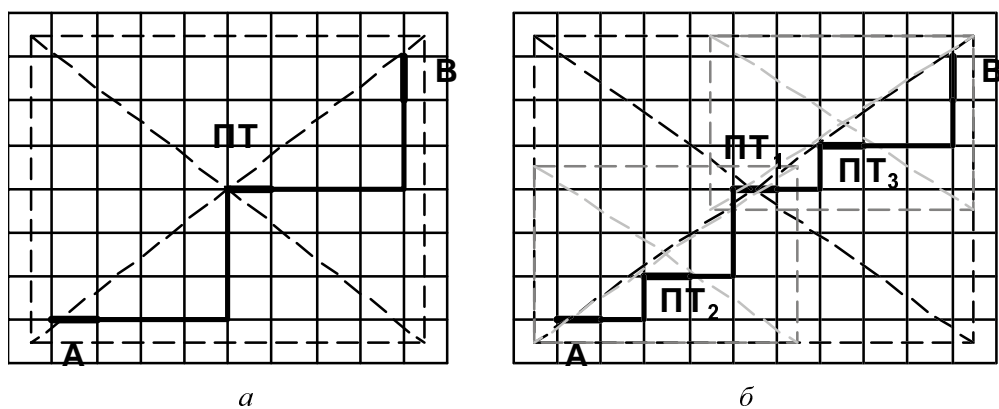


Рис. 3. Введення проміжної точки

Одним із керуючих параметрів комплексу трасування ПЛМ є порядок вибору ланцюгів для трасування. Критеріями сортування ланцюгів можуть бути периметр P або площа S охоплюючого прямокутника, побудованого на основі контактів ланцюга. Сортування здійснюється також за кількістю контактів K_k ланцюгів. Повторно програми запускаються після перенесення нереалізованих з'єднань на початок списку ланцюгів для трасування.

2. Результати досліджень

Результати тестування програмного комплексу трасування ПЛМ "Траса" записані в табл. 1, в якій наведені характеристики тестованих схем та значення ширини каналу (W) при використанні різних методик трасування. Результати методик SEGA та ІКМВ взяті з роботи [2]. У полі "Ширина "Траса" вказані результати розробленого пакету "ТРАСА", який для більшості схем показав кращі значення ширини каналу W .

Значення ширини каналу для стратегії зростання величини параметра K_k (кількістю контактів в ланцюгах) наведені в полі $W1$. Для стратегії спадання значення критерію кількості контактів ланцюга – в полі $W2$. Аналогічно розглядалися дві стратегії сортування відносно значення площі S охоплюючого прямокутника (поля $W3$, $W4$) та дві стратегії сортування за значенням відношення периметра до кількості контактів P/K_k (поля $W5$, $W6$). Дані таблиці дають змогу порівняти значення ширини каналу при сортуванні ланцюгів за різними стратегіями.

Таблиця 1

**Значення ширини каналу за різними методиками трасування
та при різних стратегіях сортування ланцюгів**

Схема	Розмір схеми	Ланцюгів	Ширина SEGA	Ширина ІКМВ	Ширина "Траса"	W1	W2	W3	W4	W5	W6
9symml	10×11	79	10	8	8	7	7	7	7	7	7
Term1	9×10	88	10	8	8	7	7	7	7	7	8
Alu2	13×15	153	11	9	8	9	8	8	8	8	8
Apex7	10×12	155	13	10	8	8	8	8	8	8	8
Example2	12×14	205	17	11	10	10	10	9	9	9	10
Vda	16×17	225	13	12	11	11	10	11	10	11	11
Alu4	17×19	255	15	11	10	10	10	10	10	10	10
K2	20×22	404	17	15	12	12	12	12	12	12	12

У табл. 2 наведені результати практичного застосування двох стратегій формування МЗД для реальних схем. У полі D1 занесені значення сумарної довжини ланцюгів схеми, побудовані за першою стратегією (від ребра-джерела), а в полі D2 — за другою стратегією (від побудованого фрагмента МЗД). Виходячи зі значення середньої сумарної довжини для тестованих схем можна побачити, що друга стратегія формування фрагментів МЗД дозволила покращити цей показник на 25,2 % порівняно з першою стратегією, а порівняно з результатами методики ІКМВ на 5 % зменшилось значення сумарної довжини ланцюгів для тестованих схем.

Таблиця 2

**Значення загальної довжини ланцюгів схеми
при різних стратегіях побудови фрагментів МЗД**

Схема	Розмір схеми	Ланцюгів	D1	D2	D (ІКМВ)
9symml	10×11	79	851	642	695
Term1	9×10	88	603	589	610
Alu2	13×15	153	2043	1501	1600
Apex7	10×12	155	1020	956	971
Vda	16×17	225	3475	2701	2827
Alu4	17×19	255	4353	3109	3384
busc	12×13	151	1325	1091	1138
dma	16×18	213	3512	2250	2279
Сума			17182	12839	13504

Висновки

Практичне застосування запропонованої методики трасування ПЛМ та проведене тестування на промислових схемах дозволили зменшити значення ширини каналу на 14,3 % для схем серії 4000, на 6,7 % для схем серії 3000.

1. Мельник Р.А. Алгоритми ієрархічного моделювання площинної та просторової топології НВІС. Львів, 1999. 2. Alexander M.J., Cohoon J.P., Ganley J.L. and Robins G. An architecture-independent approach to FPGA routing based on multi-weighted graphs, in Proc. EDA conf., Grenoble, France, Sept., 1994. P. 259–264.