

# АРХІТЕКТУРА ТА КОМПОНЕНТИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

УДК 621.382

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСУ МАКРОТРАСУВАННЯ ПРОГРАМОВАНИХ МАТРИЦЬ

© Роман Мельник, Тетяна Коротеєва  
НУ "Львівська політехніка", м. Львів, вул.С. Бандери, 12

*Розглядаються проблеми проведення з'єднань програмованих логічних матриць в умовах багатокритеріальності. Аналізуються результати експериментальних досліджень комплексу макротрасування.*

*This paper presents a performance-oriented routing tools for field-programmable gate arrays in multicriteria conditions. Results of experimental research of macro-routing package was considered.*

### Вступ

Ряд сучасних інтегральних мікросхем базуються на програмованих логічних матрицях (ПЛМ) (рис.1а), які дозволяють на замовлення реалізувати певну логіку. Архітектура ПЛМ реалізована прямокутним масивом логічних блоків та множини програмованих ресурсів з'єднань. Логічні блоки мають програмовану пошукову таблицю, яка дає можливість виконувати будь-які комбінаційно-логічні функції від однієї до чотирьох змінних. Ресурси маршрутизації використовуються для з'єднання логічних блоків та геометрично утворюють ортогональну систему вертикальних та горизонтальних каналів. Канали містять множину магістралей, на яких безпосередньо розміщуються з'єднання схеми. На перетині цих каналів розміщені блоки перемикачів. З'єднання блока перемикача виконані як транзистори проходу, які можуть бути включені, щоб з'єднати інцидентні магістралі каналу. Підключення логічного блока відбувається через наперед заданий контакт блока на сегмент сусіднього каналу ПЛМ.

### 1. Формулювання задачі трасування ПЛМ

Одним з етапів проектування ПЛМ є процес проведення з'єднань або трасування,

ефективність якого залежить від характеру поставленої задачі та алгоритмів її розв'язання. При формулюванні задачі трасування ПЛМ необхідно брати до уваги таке:

- Типовий проект повинен бути поділений на розділи та відображений на декількох ПЛМ. Через те, що зовні кристала затримка поширення сигналу значно більша, ніж затримка на чіпі, необхідно мінімізувати число таких розділів. Здатність упакувати великі розділи на окремих ПЛМ може зменшити загальну кількість розділів, необхідних для виконання проекту.
- Використання ПЛМ, в основному, не перевищує 80%. Тому значна гнучкість для оптимізації трасування залишається на границях ПЛМ. Зменшення затримки поширення сигналу досягається через використання найбільш прямих з'єднань, тобто пошук 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 та задану або вираховану множину магістралей в каналі. Використання даної магістралі каналу одним ланцюгом забороняє його використання іншими ланцюгами.

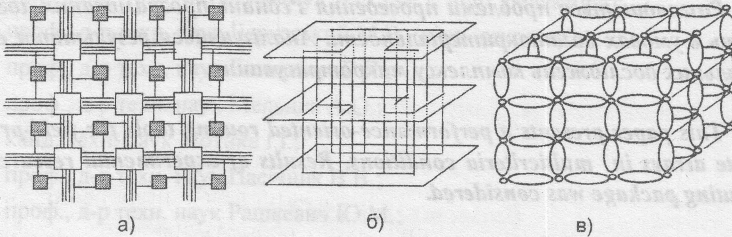


Рис.1. Архітектура площинної ПЛМ та моделі просторових

Основними критеріями якості етапу трасування є:

- мінімізація максимальної ширини каналів з'єднань або кількості використаних магістралей в каналі;
- мінімізація сумарної довжини з'єднань схеми;
- мінімізація середньої довжини шляхів "джерело – контакт" для всіх ланцюгів або радіус схеми;
- повна протрасованість схеми.

Ці критерії матеріалізуються у вигляді функцій сумарної довжини з'єднань

$$S = \sum S_i^{(1)}, \quad (1)$$

чи середньої довжини шляхів "джерело – контакт"

$$S_i = \sum S_{ij}^{(1)}, \quad (2)$$

та пропускної здатності каналу або ширини каналу  $W$ .

Отже, проблема трасування ПЛМ має комбінаторний характер, тобто задовольняючи допустиму зв'язність, підтримувати виконання певних критеріїв можна в процесі проведення між'єднань на основі однократного трасування ПЛМ, а також багатократним повторенням процесу трасування при наявності непростасованих з'єднань чи при спробі отримати трасування з меншими значеннями цільових функцій. Зрозуміло, що кожне наступне повторення експерименту трасування має бути здійснене при відповідному управлінні (зміні) керуючих параметрів.

## 2. Моделі ПЛМ та процесів трасування

Програмовані логічні матриці (рис. 1а) в загальному випадку є складовими просторових архітектур, моделі яких можна зобразити багаторівневими ДТРП з можливими переходами між рівнями (рис. 1б) або графом  $G(V, E)$ , 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  $v_j$ , є функцією від декількох змінних, одна з яких дорівнює кількості ресурсів даного фрагмента каналу або його пропускній здатності, а друга – геометричній відстані між двома блоками перемикачів.

Архітектура програмованих логічних матриць дозволяє використати регулярно-рівномірну структуру ДТРП, в якій розміри дискретів визначаються відстанню між сусідніми блоками перемикачів.

Логічний блок закріплюється за певним фрагментом каналу, на який цей логічний блок має направлений контакт (рис. 2). Для побудови дерев використовується модифікований хвильовий алгоритм, який детально описаний в роботі [1].

Усі модифікації хвильового алгоритму потребують значного часу виконання та великих об'ємів оперативної пам'яті. Під час поширення хвилі необхідно зберігати інформацію про фронт хвилі та пріоритетні напрямки. Наведена нижче стратегія дозволяє оптимізувати цей процес, а практичні результати продемонстрували доцільність її використання.

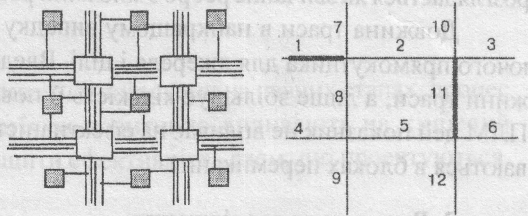


Рис. 2. Представлення фрагмента ПЛМ графом

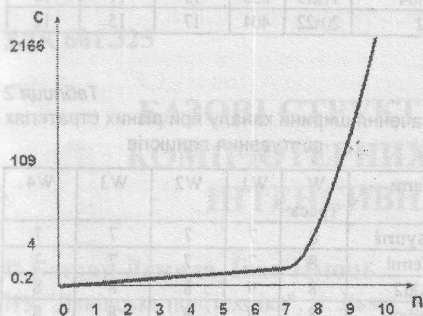


Рис. 3. Графік залежності часових характеристик хвильового процесу від розмірів ПЛМ

Реалізація хвильового алгоритму 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.

Практичні дослідження показали, що при реалізації алгоритму на комп'ютері часові характеристики хвильового процесу мають залежність від розмірів ПЛМ, проілюстро-



вану на рис. 3 (випадок *IBM PC Pentium III 450MHz*).

Тому в ситуаціях, коли розміри охоплюючого прямокутника для джерела і цілі перевищують заздалегідь обумовлені (в даній роботі критичними значеннями прямокутника є  $10 \times 10$ ), було використано декомпозиційний підхід, 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, звизити її простір поширення, залишаючись в межах

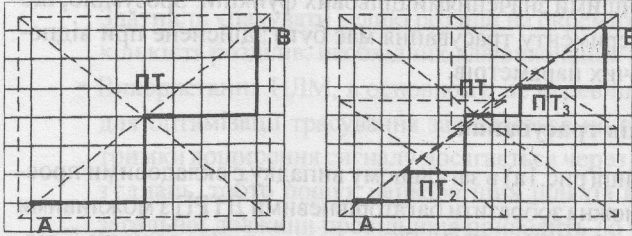


Рис. 4. Введення проміжної точки

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. 4.).

Довжина траси в найкращому випадку дорівнює половині периметра охоплюючого прямокутника для джерела і цілі. Введення проміжних точок не збільшує довжини траси, а лише збільшує кількість її поворотів. У випадку проведення зв'язків в ПЛМ цей показник не впливає на ефективність схеми, тому що повороти траси відбуваються в блоках перемикання.

### 3. Результати дослідження

Одним з керуючих параметрів комплексу трасування ПЛМ є порядок вибору ланцюгів для трасування. Критеріями сортування ланцюгів можуть бути периметр або площа охоплюючого прямокутника, побудованого на основі контактів ланцюга. Сортування здійснюється також за кількістю контактів ланцюгів. Наступною групою керуючих параметрів є пропускні здатності ребер, причому або всіх ребер одночасно або змінювати пропускні здатності в межах певних зон площини трасування. Керування стратегією розбиття площини трасування і визначення координат проміжних точок в першій версії програми реалізується автоматично. Повторні пуски програми здійснюються після перенесення нереалізованих з'єднань на початок списку ланцюгів для трасування.

Результати тестування програмного комплексу трасування наведені у двох таблицях.

Таблиця 1  
Значення ширини каналу за різними методами трасування

Схема	Розмір схеми	ланцюгів	ширина Sega	ширина ІКМБ	ширина W
9symml	10x11	79	10	8	8
Term1	9x10	88	10	8	8
Alu2	13x15	153	11	9	8
Apex7	10x12	155	13	10	8
Example2	12x14	205	17	11	10
Vda	16x17	225	13	12	11
Alu4	17x19	255	15	11	10
K2	20x22	404	17	15	12

Таблиця 2  
Значення ширини каналу при різних стратегіях стасування ланцюгів

Name	W Траса	W1	W2	W3	W4
9symml	8	7	7	7	7
Term1	8	7	7	7	7
Alu2	8	9	8	8	8
Apex7	8	8	8	8	8
Example2	10	10	10	9	9
Vda	11	11	10	11	10
Alu4	10	10	10	10	10
K2	12	12	12	12	12



У табл. 1 подано характеристики тестованих схем та значення ширини каналу ( $W$ ) при використанні різних методик трасування. Результати методик *SEGA* та *IKMB* взяті з роботи\*. В останній колонці вказані результати розробленого пакета "ТРАСА", який для більшості схем показав кращі значення ширини каналу  $W$ .

У табл. 2 наведені результати тестування комплексу з використанням стратегій керування кількістю контактів в ланцюгах. Результати ширини каналу для стратегії зростання величини параметра представлені в полі  $W1$ . Для стратегії спадання значення критерію кількості контактів ланцюга – в полі  $W2$ .

Аналогічно розглянуто дві стратегії сортування відносно значення площі  $S$  охоплюючого прямокутника:

- 1) згідно із зростанням значення  $S$ . Для ланцюгів, контакти яких мають однакову координату  $x$  або  $y$ , тобто вони мають виходи на один і той же канал, значення площі охоплюючого прямокутника дорівнює 0. Значення отриманої ширини каналу занесені в поле  $W3$ .
- 2) згідно із спаданням значення  $S$ . Значення отриманої ширини каналу занесені в поле  $W4$ .

Табл. №2 дає змогу порівняти результати сортування ланцюгів за різними стратегіями.

## Висновки

Модифікації хвильового алгоритму, декомпозиція схеми на певних етапах, процес сортування ланцюгів за різними стратегіями позитивно впливають на кінцевий результат трасування та дозволяють підвищити ефективність схем, що проектуються.

УДК 681.325

## БАЗОВІ СТРУКТУРИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБРОБКИ ІНТЕНСИВНИХ ПОТОКІВ ДАНИХ

© Богдан Демида, Іван Цмоць

НУ "Львівська політехніка", м. Львів, вул.С. Бандери, 12

\* M.J.Alexander, J.P.Cohoon, J.L.Ganley, and G.Robins, An architecture-independent approach to FPGA routing based on multi-weighted graphs// Proc. EDA conf., Grenoble, France, sept. 1994, pp.259-264.