

Р. Базилевич, В. Влах, Д. Януш  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра програмного забезпечення

## АЛГОРИТМИ ГРУПОВОГО ЗГОРТАННЯ В ЗАДАЧАХ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ

© Базилевич Р., Влах В., Януш Д., 2011

Пропонується алгоритмічна та програмна реалізація групового згортання елементів для задач ієрархічної декомпозиції електронних схем. Підхід дає змогу пришвидшити розв’язання задач декомпозиції без істотних погіршень її якості.

**Ключові слова:** ієрархічна декомпозиція, розбиття схеми, групова згортка.

**Algorithmic and software implementations of group reduction for hierarchical decomposition of electronic circuits are proposed. Approach reduces the running time without significant worsening of the quality.**

**Keywords:** hierarchical clustering, circuits partitioning, group reduction.

### Вступ

Одним з важливих етапів автоматизованого проектування складних інтегрованих схем є задача їх якісного розбиття на задане число фрагментів з врахуванням обмежень. Задача належить до важкорозв’язуваних комбінаторних класу NP. Одним з ефективних підходів до розв’язування задачі є метод оптимального згортання схеми [1–3], що забезпечує можливість вибору необхідних параметрів розбиття із застосуванням декількох типів згортання з різними критеріями, які впливають безпосередньо на якість і час роботи. Такі алгоритми є поширені під час розв’язування задач компонування, пакування, розміщення інтегрованих схем, а також аналізу та тестування програмних засобів та інших.

### Формулювання задачі

Задача декомпозиції складних електронних схем полягає в їх поділі на задане число мінімально зв’язаних між собою фрагментів із забезпеченням необхідного рівня рівномірності розбиття та інших обмежень за допустимих затрат часу та обчислювальних ресурсів. Гіперграфове представлення схеми  $S = (P, E)$  та їх розбиття на дві частини умовно показано на рис. 1. Схему описано двома множинами: множиною елементів  $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\}$  та множиною гіперребер  $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$ . Ієрархічна декомпозиція реалізується двома групами алгоритмів: згортанням з виділенням ієрархічно вкладених кластерів та розбиттям із забезпеченням заданих обмежень.

Алгоритми розбиття поділяють схему на фрагменти за заданим критерієм із задоволенням встановлених обмежень на кількість фрагментів і рівнем їх рівномірності. Алгоритм згортання формує дерево ієрархічно вложених кластерів, яке використовується для аналізу структури схеми. Одним із параметрів алгоритмів згортання є критерій об’єднання кластерів, що описує співвідношення елементів схеми між собою за ступенем зв’язності. Цей критерій може бути фіксований для всіх ітерацій згортки або динамічно змінюватись у процесі згортання схеми чи інших поточних характеристик дерева. Формується таблиця рейтингів, створена за значенням вибраного критерію згортання для пар кластерів (елементів) – кандидатів на об’єднання [4]. Досліджено вплив декількох критеріїв згортання схеми:

$$\begin{aligned} \min (N^{ext}); \\ \max (N^{int}); \end{aligned} \quad (1)$$

$$\min(N^{int} - N^{ext});$$

$$\min(N^{int} - N^{ext} - N^{comb});$$

де  $N^{ext}$  – кількість зовнішніх зв'язків,  $N^{int}$  – кількість внутрішніх зв'язків,  $N^{comb}$  – кількість комбінованих зв'язків схеми [2].

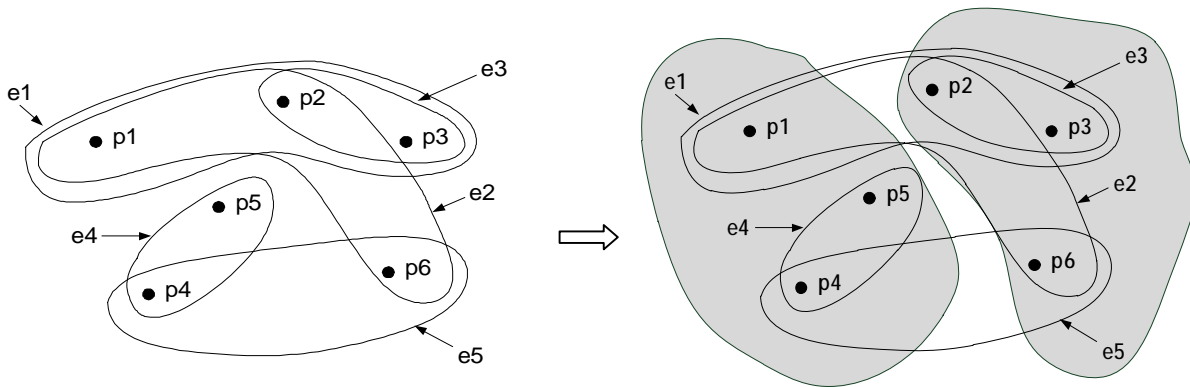


Рис. 1. Гіперграфове представлення схеми та її розбиття на дві частини

У зв'язку з великою розмірністю сучасних інтегрованих схем (понад мільярд транзисторів) критичними параметрами роботи алгоритмів декомпозиції є часо- та ресурсозатратність. Для пришвидшення процесу декомпозиції схем пропонуються алгоритми групового згортання, що дають змогу за одну операцію об'єднувати декілька елементів чи кластерів і так прискорювати процес формування дерева кластерів.

#### Алгоритми групового згортання

Основною інформацією для досліджень алгоритмів згортання є таблиця рейтингів для пар кластерів (елементів), що обчислюється за вибраним критерієм. Під час згортання послідовні алгоритми об'єднують пари елементів з найкращим рейтингом на кожній ітерації з подальшим оновленням таблиці рейтингів. Під час бінарного згортання за одну ітерацію утворюються лише пари елементів. Число пар кластерів дорівнює:

$$K = n - 1,$$

де  $n$  – кількість елементів схеми.

Алгоритми групового згортання передбачають об'єднання декількох кластерів (елементів) в один за одну операцію (рис. 2). Це зменшує число ітерацій та прискорює обчислювальний процес. Допустиме число пар, що згортаються в межах однієї ітерації, може задаватись у відсотковому співвідношенні до загального числа елементів або від значення критерію об'єднання. Алгоритми групового згортання можна поділити на дві групи: алгоритми згортання за відсотковим значенням числа об'єднаних пар елементів у групі з врахуванням типу функції якості та алгоритми з врахуванням абсолютного чи відносного значення критерію об'єднання.

В основу алгоритмів першої групи покладено ідею об'єднання визначеного відсотка найкращих пар кластерів (елементів) відносно числа всіх пар. Цей принцип забезпечує рівномірність згортання впродовж усіх ітерацій, але він не враховує конкретних значень критеріїв. Значення допустимого відсотка згортання може бути постійною величиною протягом усіх ітерацій алгоритму або динамічно змінюватись у процесі згортання.

Алгоритми другої групи будуються за принципами згортання пар кластерів (елементів), що мають лише краще значення критерію, тобто в одну ітерацію виконується згортка пари або декількох пар з однаковим або близьким (величина відхилення задається) значенням критерію. Досліджено декілька варіантів реалізації алгоритмів для обох з цих груп.

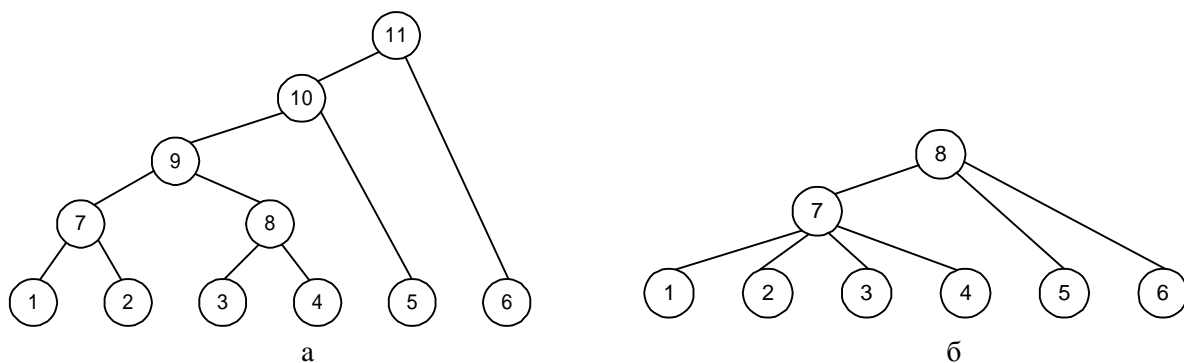


Рис. 2. Приклад дерев згортання: а – бінарне; б – групове (n-арне)

### Алгоритми групового згортання за відсотковим критерієм

Досліджено два алгоритми згортання за відсотковим значенням критерію:

- алгоритм бінарного згортання за відсотком найкращих пар кластерів (елементів);
- алгоритм групового згортання за відсотком найкращих пар кластерів (елементів).

Кожен із алгоритмів реалізує свій спосіб об'єднання вибраних пар кластерів (елементів) з таблиці рейтингів [4]. Перший алгоритм реалізує бінарне згортання, за якого за одну ітерацію формується пари кластерів (елементів) так, щоби забезпечити максимальне число новоутворених кластерів.

Основні кроки алгоритму:

1. Формування таблиці рейтингів пар кластерів (елементів) за обраним критерієм.
2. Вибір відсотка кластерів для об'єднання.
3. Формування списку взаємно не конкуруючих пар кластерів.
4. Об'єднання обраних пар кластерів (елементів).
5. Оновлення значень рейтингів.
6. Якщо згортання не завершено, перехід на крок 2.
7. Дерево сформоване.

За другим алгоритмом за одну ітерацію допустиме об'єднання вибраного числа елементів чи кластерів. Підхід дає змогу зменшити часові затрати на формування дерева кластерів схеми, але не гарантує рівномірності згортання. Алгоритм подібний до попереднього, але має власні кроки 3 та 4:

3. Формування списку груп кластерів (елементів) за обраним відсотком записів з таблиці рейтингів.

4. Об'єднання обраних кластерів (елементів) у групи.

### Алгоритми групового згортання за кращим значенням критерію

Ця група алгоритмів враховує абсолютне чи відносне значення критерію зв'язності кластерів (елементів) схеми. Вибирають групи кластерів (елементів) для згортання з таблиці рейтингів лише за кращим значенням критерію. За одну ітерацію об'єднуються найбільш зв'язані елементи (кластери) схеми в групи. Недоліком цих алгоритмів може бути їх менша швидкодія порівняно із відсотковими методами, якщо вони використовують більшу вибірку кластерів (елементів). У разі об'єднання кластерів (елементів) лише за найкращим значенням критерію можливе утворення нерівномірного дерева згортання. Таке явище зумовлюється особливостями структури схеми та обраного критерію згортання.

Для цієї групи запропоновано та досліджено два алгоритми:

- алгоритм бінарного згортання за кращим абсолютним чи відносним значенням критерію;
- алгоритм групового згортання за кращим абсолютним чи відносним значенням критерію.

У разі бінарного згортання з утворенням максимального числа нових кластерів забезпечується рівномірність дерева згортання, що є одним з важливих чинників отримання доброї якості розбиття. Основні кроки першого алгоритму:

1. Формування таблиці рейтингів пар кластерів (елементів) за обраним критерієм.
2. Вибір абсолютного чи відносного значення відхилення критерію та формування групи кластерів (елементів).
3. Формування списку взаємно не конкуруючих елементів (кластерів).
4. Об'єднання вибраних пар.
5. Оновлення значень рейтингів.
6. Якщо згортання не завершено, перехід на крок 2.
7. Дерево сформовано.

Алгоритм групового згортання подібний до попереднього, відмінність полягає в кроках 3 та 4:

3. Формування списку взаємно не конкуруючих груп кластерів (елементів);
4. Об'єднання обраних груп кластерів (елементів) у кластери вищого рівня.

### Експериментальні дослідження

З метою дослідження ефективності запропонованих алгоритмів проведено експериментальний поділ тестової схеми Іbm01 (12505 елементів та 14111 зв'язків) [6] на різне число фрагментів (2, 4, 8, 16, 32). Отримані результати наведено в таблиці, яка демонструє, що алгоритми забезпечують зв'язність утворених фрагментів розбиття в межах 3 – 30 % від загальної кількості зв'язків схеми. Процес формування розбиття залежить від обраних критеріїв, числа фрагментів та допустимого відхилення рівномірності поділу на частини, а також від особливостей структури схеми. Експерименти виконано на комп'ютері з процесором Core2Duo 2,33GHz з оперативною пам'яттю 3 Gb.

Отримані розбиття є початковими розв'язками та вимагають подальшої оптимізації. Для цього розроблено алгоритми [4,5], які ґрунтуються на обміні кластерами між частинами.

Алгоритм		Число фрагментів									
		2		4		8		16		32	
		к-сть N <sup>ext</sup>	Час, сек.	к-сть N <sup>ext</sup>	Час, сек.	к-сть N <sup>ext</sup>	Час, сек.	к-сть N <sup>ext</sup>	Час, сек.	к-сть N <sup>ext</sup>	Час, сек.
1	Алгоритм бінарного згортання за відсотковим критерієм	420	6	1194	6	1726	6	2568	6	3100	7
2	Алгоритм групового згортання за відсотковим критерієм	400	6	1175	6	1714	6	2512	6	2997	6
3	Алгоритм бінарного згортання за найкращим значенням критерію	440	6	1320	6	1860	6	2620	6	3059	7
4	Алгоритм групового згортання за найкращим значенням критерію	438	5	1342	5	1852	5	2674	6	3120	6
5	Бінарне згортання	387	10	1065	10	1746	10	2408	12	2887	12

### Висновки

Алгоритми ієрархічного згортання з формуванням дерева вложений кластерів є важливим інструментом аналізу структури схеми для її декомпозиції. Запропоновані алгоритми пришвидшують процес формування дерева кластерів і водночас забезпечують достатню якість отриманих результатів, розглядаються як початкові та вимагають подальшої оптимізації. Це дасть змогу застосовувати алгоритми в задачах декомпозиції, в яких часозатратність процесу формування результату є важливим критерієм.

Порівняно з бінарним згортанням отримано вигравш в часі майже вдвічі, проте втрата якості становить 6,5 – 26,0 % залежно від числа фрагментів. Тут не відслідковується чіткої закономірності, проте можна стверджувати, що бінарне згортання дає кращі результати, а запропоновані алгоритми дають змогу істотно зменшити час обчислень. Серед запропонованих алгоритмів найкращі

результати дає алгоритм 2. Слід зазначити, що запропоновані критерії оцінювання якості не є досконалими, оскільки кожний алгоритм формує фрагменти, різні за числом елементів. Для кращого оцінювання якості результатів необхідно використовувати інтегровані критерії, які оцінюють якість згортання загалом.

1. Базилевич Р.П. Декомпозиционные и топологические методы автоматизированного конструирования электронных устройств. – Львів: Вища школа, 1981. – 168 с. 2. R. P. BAZYLEVYCH, R. A. MELNYK and O. G. RYBAK, “Circuit Partitioning for FPGAs by the Optimal Circuit Reduction Method”, *VLSI DESIGN, N.V.*, 2000. – 237–248 с. 3. Базилевич Р., Влах М., Пелих Н. Особливості опрацювання даних для ієрархічної кластеризації складних схем // *Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2010. – № 672. – С. 215–219. 4. Alpert C. J. The ISPD98 circuit benchmark suite / Alpert C. J. // *IBM Austin Research Laboratory: Austin TX 78758. – Monterey, CA USA, 1998*. 5. Roman Bazylevych, Ihor Podolskyu, Lubov Bazylevych. “Partitioning optimization by recursive moves of hierarchically built clusters”. *Proc. of 2007 IEEE Workshop on design and Diagnostics of electronic Circuits and systems. April 11–23, 2007, Krakow, pp.235–238*. 6. Базилевич Р., Влах М., Пелих Н. Вимушена кластеризація електричних схем з використанням швидкого алгоритму згортки ланцюгами // *Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2010. – № 686. – С. 77–80.

УДК 621.64.029

Я. П’янило<sup>1</sup>, С. Гладун<sup>2</sup>, Г. П’янило<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Центр математичного моделювання ІППММ ім. Я.С. Підстригача НАН України,  
<sup>2</sup>ДК “Укртрансгаз” НАК “Нафтогаз України”

## АНАЛІТИЧНИЙ СПОСІБ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРАВЛІЧНОЇ УВ’ЯЗКИ ЗА КОЛЕКТОРНОГО СПОСОБУ ЗБИРАННЯ ГАЗУ

© П’янило Я., Гладун С., П’янило Г., 2011

Побудовано аналітичну математичну модель гідравлічної ув’язки системи “пласт підземного сховища газу–газозбірний пункт” для колекторного збирання газу. Запропоновано ітераційний алгоритм, за яким можна розраховувати газодинамічні параметри роботи підземного сховища.

Ключові слова: математична модель гідравлічна ув’язка, ітераційний алгоритм, підземне сховище газу, газозбірний пункт.

An analytical mathematical model of the hydraulic linkage system “layer of underground gas storage, gas gathering point” for the event collector collecting gas was constructed. Proposed iterative algorithm that allows to calculate gas-dynamic parameters of the underground storage.

Key words: mathematical model of the hydraulic linkage, iterative algorithm, underground gas storage, gas gathering station.

### Вступ

Під час відбирання газу з підземного сховища (ПСГ), як і його видобування з родовища, використовують два способи збирання: шлейфовий (кожна із свердловин має окреме з’єднання зі газозбірним пунктом); колекторний (до одного шлейфу-колектора приєднано декілька свердловин).