

Р.П. Базилевич, М. Влах, Н. Пелих  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра програмного забезпечення

## ВИМУШЕНА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ШВИДКОГО АЛГОРИТМУ ЗГОРТКИ ЛАНЦЮГАМИ

© Базилевич Р.П., Влах М., Пелих Н., 2010

**Пропонується алгоритм кластеризації, призначений для прискорення процесу формування дерева згортки електричних схем високої розмірності.**

**Ключові слова:** ієрархічна кластеризація, метод оптимального згортання схеми, алгоритм згортки ланцюгами.

**Algorithm for clustering designed for acceleration of reduction tree forming process for electronic circuits is described.**

**Keywords:** hierarchical clustering, optimal curtailment scheme method, the algorithm of convolution chains.

### Вступ

Однією із основних проблем алгоритмів розв’язування задач класу NP є їх часозатратність. Значні за розміром набори вхідних даних (десятки та сотні тисяч елементів) вимагають вагомих затрат часу та ресурсів на їх опрацювання. Не є винятком і задачі оптимального розбиття електричних схем. Для їх розв’язання застосовують алгоритми ієрархічної кластеризації. Ці алгоритми ґрунтуються на методі оптимального згортання схеми, що підтвердив свою високу якість для задач великих розмірностей [1].

Базовим алгоритмом побудови дерева згортання схеми є бінарна згортка. В процесі формування дерева цей алгоритм за одну ітерацію об’єднує два кластери. Кількість ітерацій в такому випадку становить  $n-1$ , де  $n$  – кількість елементів схеми. Алгоритм дає добрі за якістю результати, але вимагає значних часових затрат для формування дерева.

Альтернативу становлять алгоритми, що здатні за одну ітерацію об’єднувати декілька кластерів. Такі алгоритми формують дерево згортки швидше за рахунок скорочення кількості ітерацій. Недоліком таких алгоритмів є деяке погіршення якості результатів. За цими алгоритмами на одній ітерації об’єднується деякий відсоток кращих серед всіх можливих для об’єднання пар або всі пари, для яких значення критерію міститься в заданих межах від найкращого. Експерименти підтвердили доцільність об’єднання 20 – 30 % всіх пар [2, 3].

Пропонується новий алгоритм, який прискорює процес згортки схеми і водночас забезпечує високу якість результатів, окремі елементи якого запропоновано в [4].

### Алгоритм згортки ланцюгами

У процесі розроблення підходу представлення електричних схем у пам’яті та алгоритмів формування дерева згортання, описаних в [4], їх програмної реалізації та дослідження було виявлено, що алгоритм бінарної згортки формує якісні результати. Із застосуванням критерію

$$\max ( N_{internal} - N_{external} - N_{combined} ), \quad (1)$$

кількість молодших сусідів кластера не перевищила 180 для тестової схеми IBM01 (68684 елементів і 69429 зв’язків). Це найкращий з досягнутих результатів.

Реалізовано та протестовано декілька алгоритмів вимушеної згортки. Усі вони ґрунтувалися на ідеї примусового злиття групи кластерів на основі інформації про окремі пари кластерів. При формуванні дерева згортки за цим критерієм утворювались кластери із кількістю молодших сусідів, яка перевищувала значення 3000 – 4000 кластерів. Це, своєю чергою, викликало значне сповільнення процесу згортки.

Запропонований швидкий алгоритм згортки ланцюгами має певні переваги. В його основі лежить ідея пошуку ланцюгів кластерів, які між собою сильно зв'язані. Алгоритми і структури даних підходу [4] основані на оперуванні інформації про пари кластерів. Формування ланцюгів кластерів також відбувається ланками по два зв'язані кластери.

Процес формування ланцюга реалізується за таким алгоритмом:

1. Отримання кластера – лідера рейтингу ( $c_{best}$ ). Значення критерію для всіх кластерів впорядковується. На основі цього визначається їхній рейтинг.
2. Отримання найкращого сусіда  $c'_{best}$ .
3. Пара ( $c_{best}, c'_{best}$ ) формує першу ланку ланцюга.
4. Якщо поточний кінець ланцюга  $c'_{best}$  має сусідів, то перехід на 5. Інакше перехід на 8.
5. Вибір найкращого сусіда  $c''_{best}$  поточного кінця ланцюга.
6. Додавання  $c''_{best}$  у ланцюг.
7. Перехід на 9.
8. Алгоритм зайшов у безвихідь. Повернення на один елемент назад.
9. Перехід на 4.

На рис. 1 схематично зображено процес формування ланцюга кластерів. Отриманий ланцюг кластерів утворює множину кластерів для майбутньої ітерації згортки.

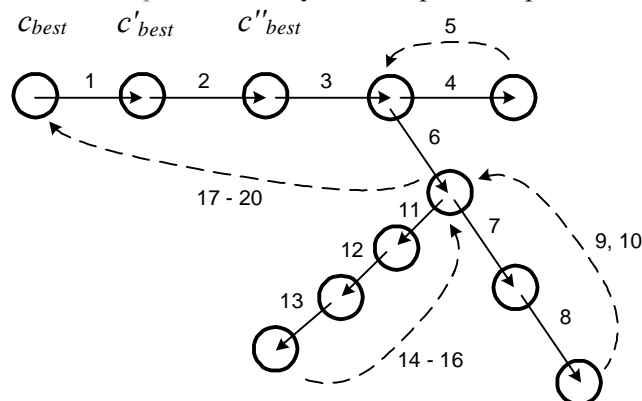


Рис. 1. Кроки швидкого алгоритму згортки ланцюгами

Із рис. 1 видно, що алгоритм намагається віднайти продовження ланцюга, повертаючись до попередніх його елементів і продовжуючи об'єднання із їх наступними, ще не долученими молодшими сусідами. Такий пошук дає змогу будувати ланцюги заданої довжини. Проте здебільшого затрати часу на пошук за допомогою повернень перевищують час, який алгоритм економить за рахунок одночасного злиття кластерів отриманого ланцюга.

З цієї причини алгоритм потребує обмеження на процес пошуку. Такими обмеженнями є максимальний об'єм згортки – довжина ланцюга, а також кількість невдалих повернень. Під невдалим поверненням мається на увазі повернення до попереднього кластера ланцюга, яке не дало змоги продовжити пошук.

Практичні дослідження показали, що застосування такого обмеження є ефективним, оскільки оптимальне значення порогу довжини ланцюга залежить від характеру і структури схеми. Своєю чергою, кількість повернень є універсальним засобом керування роботою алгоритму.

Експерименти показали, що оптимальне значення доступної кількості повернень для більшості схем, запропонованих у [5], становить 3. При цьому забезпечується висока швидкість процесу згортки і водночас достатньо добра якість кластерів отриманого дерева.

### Експериментальні дослідження

У таблиці наведено результати застосування алгоритмів бінарної згортки та згортки ланцюгами до тестових схем [2] різних розмірів. Результати свідчать, що швидкий алгоритм згортки ланцюгами має перевагу за швидкістю. Затрати часу на згортку схеми, яка містить 210340 кластерів, у 4,6 раза нижчі порівняно із бінарним алгоритмом.

### Порівняння швидкодії алгоритмів бінарної згортки і згортки ланцюгами

Схема	К-ть кластерів у схемі	Бінарна згортка, с	Швидкий алгоритм, с
IBM01	12505	10,1	5,01
IBM02	19341	58,38	24,54
IBM03	22852	31,18	16,68
IBM04	27219	35,57	15,32
IBM05	28145	73,28	38,39
IBM06	32331	78,42	34,29
IBM07	45638	78,97	31,31
IBM08	51022	175,49	60,76
IBM09	53109	97,16	36,94
IBM010	68684	176,55	70,82
IBM011	70151	138,27	45,71
IBM012	70438	200,42	92,71
IBM013	83708	242,6	79,81
IBM014	147087	760,061	164,07
IBM015	161186	1052,84	255,05
IBM016	182979	1338,97	294,44
IBM017	184751	1387,01	364,62
IBM018	210340	1810,04	390,97

Згідно з отриманими результатами оцінка складності запропонованого швидкого алгоритму згортки ланцюгами становить  $O(x^{1,3519})$ . Гістограма на рис. 2 відображає зміну довжини списку молодших сусідів новоутворених кластерів у часі при згортці схеми із 68684 елементів. Як видно з гістограми, в процесі формування дерева виникають пікові значення, максимальне із яких не перевищує 1550. Проте таких піків небагато, основна частина кластерів за розмірами списку молодших сусідів лежить у межах від 50 до 300. Це добрі результати, оскільки, для порівняння, максимальний розмір множини молодших сусідів кластерів для алгоритму бінарної згортки становив 160 для заданої схеми.

Гістограма на рис. 3 відображає зміну об'єму згортки в процесі формування дерева з використанням швидкого алгоритму згортки ланцюгами. Кількість кластерів, що згортались за одну ітерацію, не перевищувала 135. Середнє ж значення становило близько 40. Це свідчить про стабільність алгоритму.

Число  
сусідів кластерів



Номер ітерації згортки

Рис. 2. Гістограма коливання кількості сусідів кластерів у процесі згортки

Число  
кластерів



Номер ітерації згортки

Рис. 3. Гістограма зміни об'єму згортки в часі

### Висновки

Під час реалізації алгоритмів ієрархічної кластеризації та їх застосування для розв'язання задач високої розмірності виникає проблема значних затрат часу на отримання результату. Це унеможливує дослідження схем із великою кількістю елементів. Алгоритми бінарної згортки дають якісні результати, проте вони вимагають значних часових затрат.

Запропоновано швидкий алгоритм згортки ланцюгами, в основі якого лежить принцип формування зв'язаного ланцюга кластерів, що формує вибірку для чергової ітерації згортки. Результати дослідження описаного алгоритму свідчать про високу швидкість процесу згортки. Зростання швидкодії для схеми розміром 210340 елементів становило 4,6 раза. Значного погіршення результатів не виявлено. Локальні прояви “деградації” кластерів істотно не впливають на результат загалом.

1. Базилевич Р.П. Декомпозиционные и топологические методы автоматизированного конструирования электронных устройств. – Львів: Вища школа, 1981. – 168 с.
2. Bazylevych R. The Optimal Circuit Reduction Method as an Effective Tool to Solve Large and Very Large Size Intractable Combinatorial VLSI Physical Design Problems // 10th NASA Symposium on VLSI Design, 2002.
3. Bazylevych R.P., Melnyk R.A. and Rybak O.G. Circuit Partitioning for FPGAs by the Optimal Circuit Reduction Method // VLSI DESIGN, OPA (Overseas Publishers Association) N.V. 2000.
4. Базилевич Р., Влах М., Пелих Н. Особливості опрацювання даних для ієрархічної кластеризації складних схем.
5. Charles J. Alpert. THE ISPD98 CIRCUIT BENCHMARK SUITE”. – IBM Austin Research Laboratory.