

ІЄРАРХІЧНЕ ОСТРІВКУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ

© Базилевич Р., Андрієнко В., 2016

Розглянуто особливості використання методу оптимального згортання схеми для острівкування енергетичних мереж. Запропоновано модифікований алгоритм послідовно-паралельного згортання з формуванням ієрархічно вкладених кластерів. Обґрунтовано переваги розробленого алгоритму й описано його програмну реалізацію, застосовувану для острівкування енергетичних мереж.

Ключові слова: острівкування енергосистеми, згортання даних, кластеризація.

The features of using the method of optimal scheme reduction for islanding of power systems is reviewed. A modified algorithm for series-parallel folding with the formation of hierarchically nested clusters is offered. The advantages of the algorithm is grounded and its implementation in the application for islanding of power system is described.

Key words: power system islanding, data reduction, clustering.

Вступ

Розподіл схеми на частини за виділеними критеріями є важливим завданням, яке виникає у багатьох прикладних застосуваннях. Одним з підходів до його розв’язування є метод оптимального згортання схеми [1–3], який підтвердив свою ефективність та високу швидкодію, що є особливо важливим для задач високої та надвисокої розмірності [3]. Це робить його доцільним для острівкування енергетичних мереж. Швидке острівкування енергетичних мереж створює умови для уникнення хвильового поширення вимкнення енергопостачання у великих регіонах, яке виникало у багатьох випадках та спричинило багато шкоди, тому цього питання стосуються публікації [1–9]. Доцільним може стати розроблення алгоритму та програмних засобів для ієрархічного острівкування, яке у таких випадках є важливішим, ніж однорівневе виділення вогнища аварії. В разі поширення хвилі аварії ієрархічне острівкування дає змогу передбачити та відімкнути у разі необхідності такі вузли енергетичної мережі, які можуть увійти в аварійну зону, що дасть змогу мінімізувати шкоду. У статті розглянуто і запропоновано модифікований алгоритм методу оптимального згортання схеми, що знижує час на визначення ліній енергопостачання для їх відключення.

Метод оптимального згортання схеми

Важливим чинником методу оптимального згортання схеми, який визначає якість результату, є вибір критерію для об’єднання елементів у міцно зв’язані їх групи – кластери. Поширеним критерієм є різниця між кількістю внутрішніх і зовнішніх зв’язків у групі елементів, що розглядається як кандидат для виділення на наступний рівень групування. Виділяють кластери з більшим значенням цього критерію. У процесі об’єднання елементів та утворених на попередніх кроках кластерів будується дерево згортання T^* , яке відображає структуру ієрархічно вкладених сильно зв’язаних груп елементів. Перетин цього дерева відповідає деякому розбиттю схеми на частини, кількість та величини яких залежать від рівня розбиття, може бути довільним.

Для визначення значення критерію об’єднання необхідно обчислити різницю між кількістю внутрішніх та зовнішніх зв’язків елементів (кластерів).

Зв’язки між елементами попереднього рівня згортання у новоутвореному вузлі розглядаються як внутрішні, а всі зв’язки, що зв’язують новоутворений вузол з іншими елементами, – зовнішніми. Оскільки процедура визначення цього значення повторюється багато разів на кожному рівні згортання, вона повинна мати високу швидкодію. В процесі визначення кандидатів на об’єднання за вибраним критерієм можуть виникати неоднозначності, тобто утворюватися групи, які мають

однакові його значення та конкурують, тоді необхідно вибрати для об'єднання одну із можливих двох чи більшої їх кількості. У таких випадках для вибору кандидатів на об'єднання вводяться додаткові критерії, наприклад, ваги (кількість об'єднаних елементів) кластерів, кількість зовнішніх зв'язків та інші.

Критерій визначення кандидатів на об'єднання можна записати у такому вигляді:

$$\Delta_{ij} = \sum E_{ij}^{in} - \sum E_{ij}^{ex} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де $i, j = \overline{1, N}$, N – кількість елементів енергосистеми; Δ_{ij} – різниця між кількістю зовнішніх і внутрішніх зв'язків вузлів; $\sum E_{ij}^{in}$ – сума внутрішніх зв'язків елементів, що формують новий вузол; $\sum E_{ij}^{ex}$ – сума його зовнішніх зв'язків.

На кожному кроці алгоритму згортання необхідно розраховувати тимчасові значення різниць між кількостями внутрішніх і зовнішніх зв'язків кандидатів на об'єднання. Для цього потрібно обчислити ці значення для всіх потенційних вузлів. Створення нового вузла здійснюється вибором найбільшого значення зі всіх кандидатів.

Значних обчислювальних затрат вимагає знаходження кандидатів на об'єднання. Запропонована модифікація алгоритму зменшує затрати на такі обчислення, збільшуючи швидкодію алгоритму [2].

Модифікація алгоритму побудови дерева оптимального згортання схеми

Модифікований алгоритм побудови дерева оптимального згортання схеми має такі особливості:

1. Значення кількості внутрішніх зв'язків нового потенційного вузла розкладається на дві складові: внутрішню кількість i -го та внутрішню кількість j -го вузла.

$$\sum E_{ij}^{in} = \sum E_i^{in} + \sum E_j^{in} + E_{ij}^{com}, \quad (2)$$

де E_{ij}^{com} – кількість взаємних зв'язків між двома вузлами.

2. Зовнішні зв'язки – це зв'язки між елементами новоутвореного вузла й елементами, які йому не належать. Кількість цих зв'язків також можна розділити на дві складові окремо для кожного з вузлів:

$$\sum E_{ij}^{ex} = \sum E_i^{ex} + \sum E_j^{ex}, \quad (3)$$

3. Якщо на початковому етапі визначити суму всіх зв'язків для кожного елемента, то отримуємо для нього значення n_{Con} . Значення суми зовнішніх зв'язків можна одержати, якщо від значення n_{Con} відняти кількість внутрішніх зв'язків. З урахуванням цього формули для визначення кількості зовнішніх зв'язків для двох потенційних вузлів будуть такими:

$$\sum E_i^{ex} = n_{Con_i} - \sum E_{ij}^{in}, \quad (4)$$

$$\sum E_j^{ex} = n_{Con_j} - \sum E_{ij}^{in} \quad (5)$$

4. Застосувавши формули (2)–(5), запишемо початкову формулу (1) у розкладеному вигляді:

$$\begin{aligned} \Delta_{ij} &= \sum E_{ij}^{in} - \sum E_{ij}^{ex} = \\ &= \sum E_i^{in} + \sum E_j^{in} + E_{ij}^{com} - [(n_{Con_i} - \sum E_{ij}^{in}) + (n_{Con_j} - \sum E_{ij}^{in})] = \\ &= \sum E_i^{in} + \sum E_j^{in} + E_{ij}^{com} - [(n_{Con_i} - (\sum E_i^{in} + \sum E_j^{in} + E_{ij}^{com})) + \\ &\quad + (n_{Con_j} - (\sum E_i^{in} + \sum E_j^{in} + E_{ij}^{com}))]; \end{aligned}$$

5. Розкривши дужки, отримуємо остаточну формулу:

$$\Delta_{ij} = 3 * (\sum E_i^{in} + \sum E_j^{in} + E_{ij}^{com}) - (n_{Con_i} + n_{Con_j}); \quad (6)$$

Модифікований метод згортання усуває необхідність в постійному перерахунку однакових значень. Він зберігає потрібні проміжні дані й нарощує відповідні значення кількості внутрішніх і зовнішніх зв'язків.

У реалізації методу на кожному кроці необхідно обчислювати лише одне значення $\sum E_{ij}^{com}$, n_{Coni} та n_{Conj} можна обчислити на етапі ініціалізації як суму всіх значень у списку кожного елемента суміжності, а далі для кожного нового вузла це значення буде сумою відповідних значень двох вузлів, які формують поточний. Аналогічно $\sum E_{ij}^{in}$ визначається як сума $\sum E_i^{in} + \sum E_j^{in} + E_{ij}^{com}$ і не потребуватиме додаткових обчислень на кожному кроці, а лише змінюватиметься поступово у разі згорання схеми.

Особливості програмної реалізації методу

Представлення структури опрацювання списків, через які втілюється програмна реалізація модифікованого методу, зображено на рис. 1, 2 та 3. Ці три стадії послідовно відображають процес формування списків, а також зміни показників під час згорання схеми.

Data Load Stage	
Вхідні дані	
InputData	Non-empty, non-zero, upper triangular value from adjacency matrix of graph of power network
Row	The first relative address of element in InputData and the number of row entry in adjacency matrix
Column	The second relative address of element in InputData and the number of row entry in adjacency matrix
After Data Load Stage following the process of initialization	

Рис. 1. Етап завантаження даних

Data Initialization Stage		
Списки для опрацювання даних		During initialization here computing:
_nodes	Number of node	Number of all elements in ascending
_nodesState	Busy of node	If element have connection - "0" else "1"
e1	First subnode for node in _nodes	Default, for all "-1"
e2	Second subnode for node in _nodes	Default, for all "-1"
_insideSum	Inside sum of node	Default, for all "0"
_connection	All possible connection	Sum of all connection of node
_difference	Value of difference (on a new formula)	Default, for all "0"
After Data Initialization Stage it is possibly to begin the process of convolution		

Рис. 2. Етап ініціалізації даних

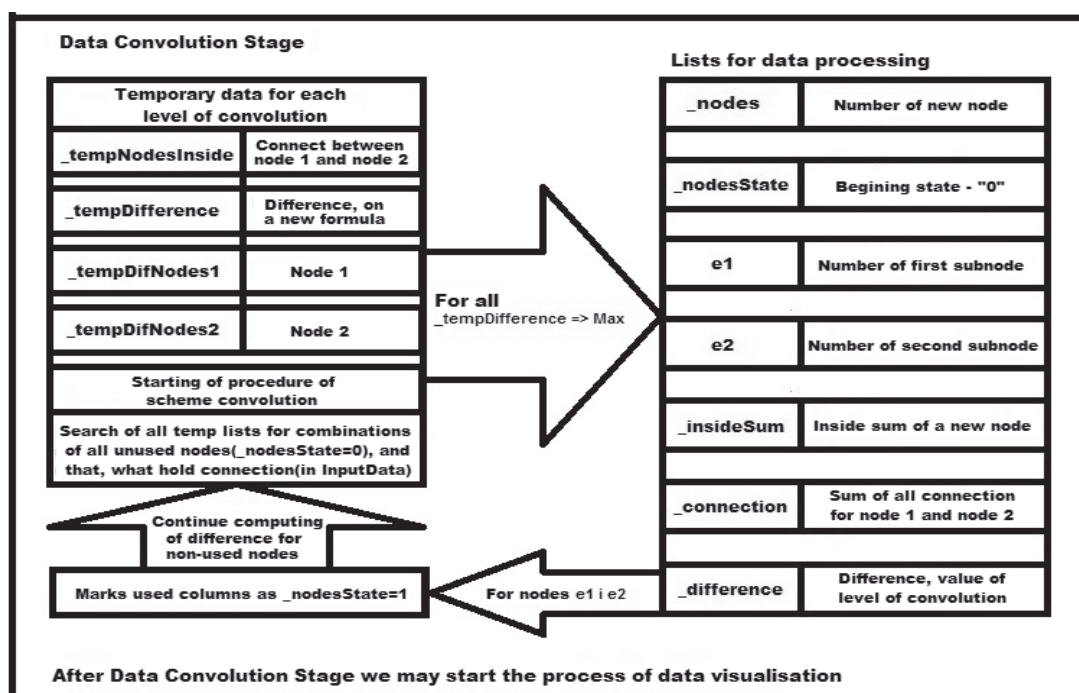


Рис. 3. Етап згортання даних

Висновки

Збільшити швидкодію алгоритму ієрархічного острівкування можна раціональним застосуванням даних на попередніх кроках за рахунок збільшення використовуваної пам'яті. Для реалізації такого методу потрібно застосувати додаткові списки зберігання даних про кількість всіх зв'язків вузла, його внутрішні зв'язки, а також всі проміжні значення на кожному з кроків реалізації алгоритму. Ураховуючи реальний обчислювальний час, варто визначити вартості операцій додавання, котрі здійснюються на кожному кроці алгоритму. Кількість порожніх прогонів циклу в зв'язку зі збільшенням кількості записів про вузли (і, відповідно, записів про поточні значення внутрішніх сум, загальних зв'язків, елементів підвузла, стани вузлів тощо) і зменшення вільних істотно вплине на кількість порожніх прогонів циклу в програмній реалізації.

1. Базилевич Р. П. Декомпозиционные и топологические методы автоматизированного проектирования электронных устройств. – Львов: Вища школа, 1981. – 168 с. 2. Bazylevych R. P., Melnyk R. A., Rybak O. G. Circuit partitioning for FPGAs by the optimal circuit reduction method // In: VLSI Design. – 2000. – Vol. 11, No 3. – P. 237–248. 3. Bazylevych R., Podolsky I. and Bazylevych L. Partitioning optimization by recursive moves of hierarchically built clusters // In: Proc. of 2007 IEEE Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems. April, 2007, Krakow, Poland. – P. 235–238. 4. Peiravi A., Ildarabadi R. Comparison of Computational Requirements for Spectral and Kernel k-means Bisectioning of Power Systems // Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(3): 2366–2388, 2009. 5. Agematsu S., Imai S., Tsukui R., Watanabe H., Nakamura T., Matsushima T. Islanding Protection System with Active and Reactive Power Balancing Control for Tokyo Metropolitan Power System and Actual Operational Experiences // In Proceedings of the 7th IEE Int. Conf. Developments in Power System Protection. – 2001. – P. 351–354. 6. Cherng, J., Chen S., Tsai C., Ho J., 1999. An efficient two-level partitioning algorithm for VLSI circuits // Proceedings of the 1999 Design Automation Conference, ASP-DAC '99, Asia and Pacific, 1: 69–72, Wanchai, Hong Kong, 18–21 Jan. 1999. 7. Cherng J., Chen S., 2003. An efficient multi-level partitioning algorithm for VLSI circuits // Proceedings of the 16th 70–75. International Conference on VLSI Design (VLSI'03), 4–8 January 2003. 8. Dhillon, Inderjit S., Guan, Yuqiang, Kulis, Brian, 2005. A Fast Kernel Based Multilevel Algorithm for Graph Partitioning // In the Proceedings of the 11th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery Data Mining (KDD). – P. 629–634. 9. Bazylevych R. P. The optimal circuit reduction method as an effective tool to solve large and very large size intractable combinatorial VLSI physical design problems // In: 10th NASA Symp. on VLSI Design, March 20–21, 2002, Albuquerque, NM, USA. – P. 6.1.1–6.1.14.