

ВИЯВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НЕЗВ'ЯЗАНИХ ПРОСТИХ КОНТУРІВ ТОПОЛОГІЙ, ЗАДАНИХ МАТРИЦЯМИ СУМІЖНОСТЕЙ

© Дунець Р.Б., 2003

Запропоновано метод виявлення елементів незв'язаних простих контурів топологій в комп'ютеризованих видавничо-поліграфічних системах, що базується на аналізі вмісту матриць суміжностей, які описують структуру зв'язків між складовими елементами таких систем.

Deals with the method of determination the non connected elements of the simply cycles of the computerized editing and printing system's topologies, which is based on analyses of the adjacency matrix's contain, which are described the connection's structure between element's of this systems.

1. Вступ

Поліграфія як галузь виробництва повинна адекватно реагувати, з одного боку, на тенденцію до зменшення тиражів видань, конкуренцію цін, вимоги до підвищення якості продукції, виготовлення продукції в точно задані терміни, що постійно скорочуються, потребу в друці одиничних кольорових примірників видань тощо, а з іншого, – враховувати можливості комп'ютерної техніки, яка вже спроможна розмножувати кольорові зображення дешевше від офсетного друку, та новітніх інформаційних технологій, які все частіше беруться в основу побудови сучасного поліграфічного обладнання [1–3]. Так, останніми роками розроблено багато систем типу “Computer-to-plate” (СТР) [4, 5], цифрових друкарських машин [6], які складають основу сучасних комп'ютеризованих видавничо-поліграфічних систем. Відразу виникла задача створення на основі застосування такого обладнання технологічних ліній, які б могли забезпечувати не тільки високий рівень автоматизації виробництва як додрукарських, так і друкарських процесів, але й забезпечувати друкування високоякісної продукції невеликих тиражів за вимогою замовника, друк в мережі тощо. Розв'язання цієї задачі проводилося і проводиться в основному в напрямку організації та керування робочими потоками (Workflow) [7], раціонального виконання всіх технологічних операцій на основі використання різних логістик [8], в той час як розробці методів проектування комп'ютеризованих видавничо-поліграфічних систем приділялося недостатньо уваги.

Відомо [9], що аналіз та синтез складних систем, а видавничо-поліграфічні системи, які належать до них, найкраще проводити окремо в класі (просторі) задач, що зводиться до декомпозиції систем на підсистеми, які теж розбиваються на підсистеми, і в класі (просторі) станів, що зводиться до моделі у вигляді орієнтованого графу станів, у якого вершини відповідають певним станам системи, а дуги – функціям і переходам між цими станами. Коли в першому випадку методи розв'язання таких задач на сьогодні вже достатньо розроблені [10], то в другому випадку найбільші проблеми виникають тоді, коли між станами можливі альтернативні шляхи переходу, тобто тоді, коли задача зводиться до аналізу та синтезу структури зв'язків між станами (топології). Якщо спочатку цей підхід

використовувався лише в процесі синтезу електричних кіл [11], електронних схем [12], складних систем керування [13], то тепер він стає актуальним і для аналізу та синтезу комп'ютеризованих видавничо-поліграфічних систем.

2. Формулювання задачі

Серед відомих методів аналізу та синтезу топологій матричні методи [14] найбільше придатні для побудови програмних продуктів, бо вони природно представляються в комп'ютерах як масиви чисел. Методи аналізу топологій, що базуються на графах, є по суті ручними методами і не зовсім підходять як машинні методи тому, що графи безпосередньо не вводяться, опрацьовуються чи зберігаються в комп'ютерах.

Всі ці методи були орієнтовані в основному на розв'язання тільки деяких класичних задач (пошук контурів, укладки графів, перетворення матриць до певного виду тощо) теорії графів, а для аналізу топологічних структур практично не були розроблені, в той час як знання топологічної структури систем дозволяє проводити швидкий пошук критичних шляхів, “вузьких” місць тощо [15].

Топологічні структури можна поділити на такі типи: послідовну, паралельну, “дерево”, деревоподібну та циклічну. Очевидно, що найбільшу трудність викликатиме виявлення циклічних топологій. Для виявлення циклічних топологій, заданих матрицями суміжностей, запропоновано достатньо ефективний метод [16]. Він забезпечує пошук всіх елементів топології, які взагалі входять в будь-які контури, що містить ця топологія, але він не виявляє приналежність елементів топології до тих чи інших контурів. В роботі [17] запропоновано порівняно трудомісткий метод пошуку елементів, що утворюють прості контури, який базується на перетворенні матриць суміжностей з використанням операцій алгебри логіки. Тут пропонується більш ефективний метод пошуку елементів топологій, які входять до незв'язаних простих контурів різної довжини, що базується на аналізі вмісту матриць суміжностей, які описують топологічну структуру.

Означення 1. Циклічною топологією називається така топологія системи, в якій в межах хоч би одного маршруту від вхідного до вихідного елемента є хоч би один елемент, вихід якого з'єднаний із входом попереднього до нього по ходу маршруту елемента, тобто має контури.

Цілком зрозуміло, що циклічну топологію можна утворити багатократним внесенням зворотних зв'язків, в усіх таких топологіях – послідовній, паралельній, “дерево” чи деревоподібній. На рис. 1 наведено приклад графа циклічної топології, утвореної із послідовної топології, відповідна матриця суміжності з'єднань за входами якої буде такою

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

В ній, як видно із рис. 1, елементи 1, 3, 4, 5 утворюють три контури: перший – “3-5-1-4-3”, другий – “3-5-1--3” і третій – “5-5”.

Означення 2. Контур топології системи називається простим, якщо в ньому всі його елементи, що з'єднані між собою, є різними, крім початкового і кінцевого, і не входять як складові частини в інші контури.

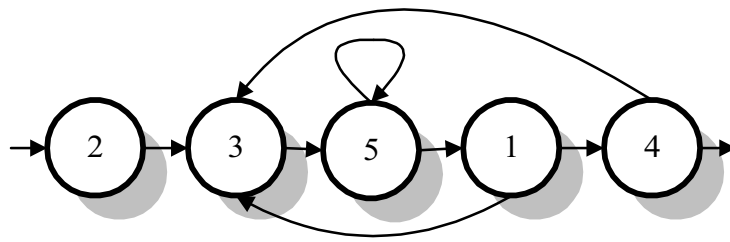


Рис. 1. Приклад графа циклічної топології із послідовної

Іншими словами це такі контури, що між собою не мають жодного спільного елемента.

На рис. 2 і 3 наведені приклади циклічних топологій, що мають прості контури. Ці топології мають по два однакових контури, що не мають спільних елементів: перший - “1-2-5-1”, а другий - “3-4-3”. Можна легко зауважити, що циклічна топологія, що зображена на рис. 1, має контури, які не є простими. Ці контури мають спільні елементи, а саме: перший і другий контур мають спільними 1, 3, і 5 елементи, другий і третій, а також перший і третій контур – 5-й елемент.

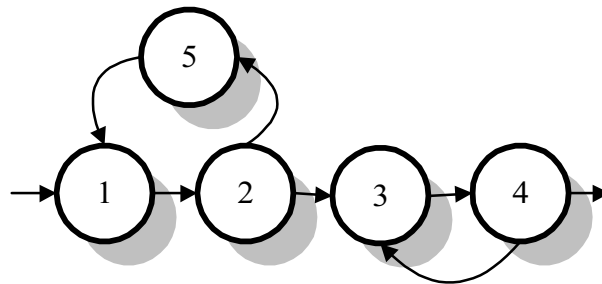


Рис. 2. Приклад графа циклічної топології з простими контурами

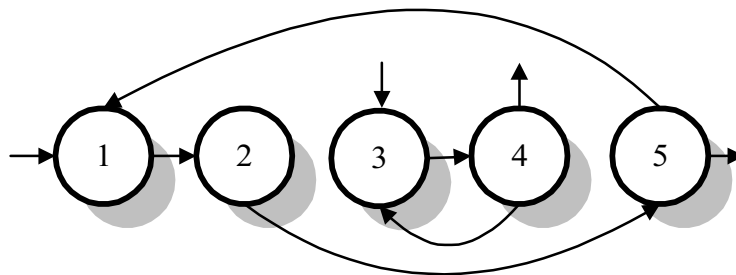


Рис. 3. Приклад графа циклічної топології з простими контурами

Означення 3. Простий контур називається незв'язаним, якщо не існує жодного маршруту з'єднань між елементами даного контуру та будь-якими іншими елементами, що не входять у цей контур.

В топології, що на рис. 3, прості контури є незв'язаними, а на рис. 2 – зв'язані, бо в цій топології є зв'язок між другим елементом першого контуру “1-2-5-1” та третім елементом другого контуру “3-4-3”.

Наведемо теореми, доведені в [17], які встановлюють зв'язок між вмістом матриці суміжності та циклічним типом топології, незв'язністю контурів.

Теорема 1. Якщо топологія системи описується не одиничною мономіальною матрицею суміжності $A = [a_{ij}]_{n \times n}$, то така топологія є циклічною і має щонайменше один контур.

Теорема 2. Якщо циклічна топологія, що містить декілька контурів, описується мономіальною матрицею суміжності, $A = [a_{ij}]_{n \times n}$, то ці контури є незв'язаними.

Отже, щоби визначити, чи містить ця топологія незв'язані прості контури достатньо в'яснити, чи відповідна матриця суміжності є мономіальною. Для визначення мономіальності матриці суміжності $A = [a_{ij}]_{n \times n}$, враховуючи, що мономіальні матриці завжди ортогональні, досить виконати операцію логічного множення матриці $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ на цю ж транспоновану матрицю $A^T = [a_{ij}]_{n \times n}$. Якщо в результаті логічного множення $A \bullet A^T$ утвориться одинична матриця суміжності, в якій всі її елементи на головній діагоналі дорівнюють одиниці, а решта - нулеві, то ця матриця $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ є мономіальною. У протилежному разі – немономіальною.

Так, наприклад, циклічна топологія з простими незв'язаними контурами, що зображена на рис. 3, має мономіальну матрицю суміжності, в чому легко переконатися:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad A^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$A \bullet A^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

В той час циклічна топологія з простими зв'язаними контурами, що на рис. 2, має матрицю суміжності, яка не є мономіальною, бо матриця $A \bullet A^T$ не є одиничною. І дійсно, в третьому рядку матриці суміжності A є дві одиниці.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad A^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$A \bullet A^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

3. Метод та алгоритм виявлення елементів топологій незв'язаних простих контурів

Метод визначення елементів незв'язаних простих контурів передбачає, що попередньо визначено, чи відповідна цій топології матриця суміжності з'єднань за входами є

мономіальною. Якщо ж матриця суміжності з'єднань за входами є мономіальною, то виконується послідовне утворення з неї матриць-мінорів A_M , причому нумерація рядків і стовпців в них не змінюється. Спочатку для викреслювання може бути взятий будь-який рядок і відповідний йому стовпець матриці суміжності. Номер цього рядка буде першим номером першого контуру.

Далі аналізується утворена матриця-мінор і виявляється, чи є в ній нульовий рядок. Якщо такий рядок в ній є, то тоді номер цього рядка стає наступним номером елемента, що утворює перший контур, і в цій матриці-мінорі викреслюється виявлений нульовий рядок і відповідний йому стовпець. Цей процес повторюється доти, поки утворена матриця-мінор не буде мати нульових рядків або вона не стане пустою.

Якщо матриця-мінор є пустою матрицею, тобто такою, в якій всі рядки і стовпці викреслені, то процес виявлення елементів контурів закінчується. Якщо ж утворена матриця-мінор не є пустою і не має нульових рядків, то тоді для викреслювання береться довільний її рядок і відповідний йому стовпець, але номер цього рядка вже буде першим елементом іншого контуру. Кількість утворених матриць-мінорів, що не мають жодного нульового рядка, дорівнює кількості незв'язаних контурів у цій топології.

На рис. 4 наведено алгоритм, що реалізує запропонований метод. В ньому, крім загальноприйнятих, введено такі позначення: $A \rightarrow A_M$ – операція утворення матриці-мінору, K_f – масив елементів f -го контуру. В алгоритм для утворення першої матриці-мінору вибирається перший рядок і стовпець матриці суміжності.

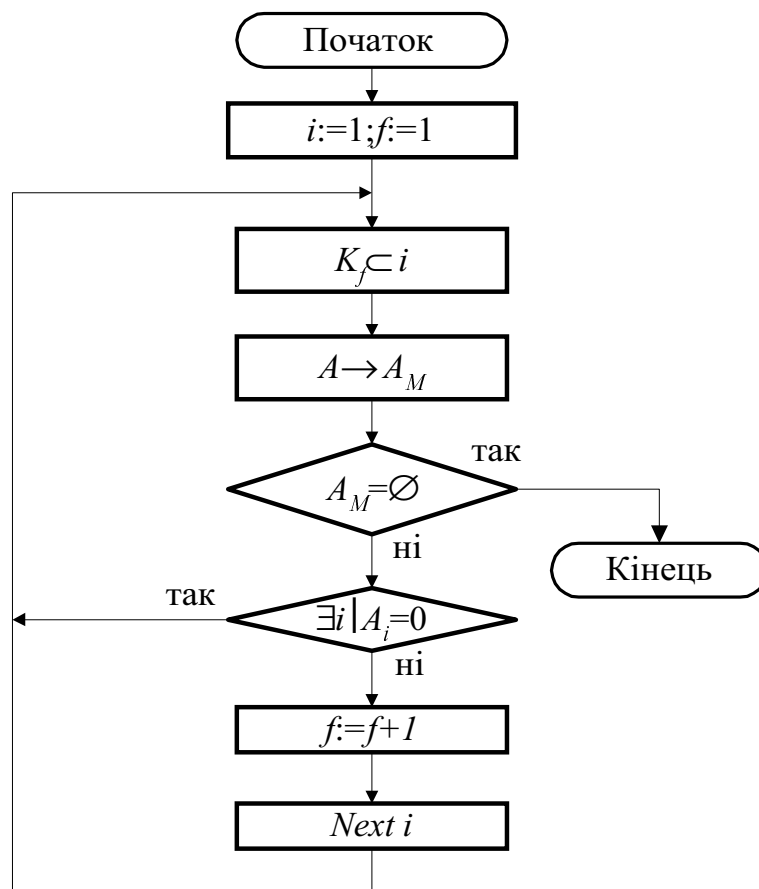


Рис. 4. Алгоритм виявлення блоків незв'язаних простих контурів

4. Приклад розв'язання задачі

Визначимо всі прості контури для топології (рис. 3), що має мономіальну матрицю суміжності.

$$A = \begin{array}{c|ccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \quad i:=1; f:=1; K_1=\{1\}.$$

Отримуємо матрицю-мінор викресленням (вилученням) першого рядка і першого стовпця

$$A_{M1} = \begin{array}{c|cccc} 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 4 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 5 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array}.$$

Другий рядок цієї матриці-мінору є нульовим. В масив елементів першого контуру K_1 записуємо номер цього рядка $K_1=\{1, 2\}$ і далі отримується нову матрицю-мінор, викреслюючи в A_{M1} другий рядок і другий стовпець

$$A_{M2} = \begin{array}{c|ccc} 3 & 0 & 1 & 0 \\ 4 & 1 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & 0 \end{array}.$$

Тут п'ятий рядок є нульовим. Отже, $K_1=\{1, 2, 5\}$.

Далі отримуємо таку матрицю-мінор

$$A_{M3} = \begin{array}{c|cc} 3 & 0 & 1 \\ 4 & 1 & 0 \end{array}.$$

В цій матриці-мінорі нема нульових рядків. Отже, пошук елементів першого контуру закінчений. Він утворений елементами 1, 2, 5.

Оскільки матриця-мінор A_{M3} не є пустою, тому аналогічно продовжуємо виявляти елементи другого контуру:

$$f=2; K_2=\{3\} \quad A_{M4} = \begin{array}{c|c} 4 & 0 \end{array}.$$

Четвертий рядок матриці-мінору A_{M4} є нульовим і його номер заносимо в масив елементів другого контуру $K_2=\{3, 4\}$. Наступна матриця-мінор є пустою матрицею, а отже, виявлення простих незв'язаних контурів закінчене. В результаті отримали, що дана топологія має два незв'язані контури, перший з яких утворюється елементами 1, 2 і 5, а другий – 3, 4.

5. Висновок

Запропоновано метод виявлення елементів незв'язаних контурів топологій комп'ютеризованих видавничо-поліграфічних систем, що базуються на аналізі вмісту матриць суміжностей, які описують структуру зв'язків між складовими цих систем. Він забезпечує пошук за кількість кроків, що дорівнює кількості елементів в топології. Цей метод найпростіше реалізується як підпрограма прикладної програми топологічного аналізу,

оскільки матриці суміжності легко перетворюються в масиви даних, які є найбільш природним представленням та опрацювання даних в комп'ютерах. Крім того, запропонований метод може бути модифікований для виявлення елементів зв'язаних контурів топологій.

1. Филин В. Поговорим о... современной типографии // *КопьюАрт*. – 1998. – № 11. – С. 2–10.
2. Лазаренко О.В., Рак Ю.П., Ралко В.М., Хаджинова С.Є. Як вибрати технологію та устаткування для міні-друкарні? – Львів: НВП Мета, 1999. – 224 с.
3. Овсиенко О. IPEX 2002: Технология XXI века // *Полиграфия*. – 2002. – № 3. – С. 5–19.
4. Позгорельский В. Современные системы СТР // *КопьюПринт*. – 2000. – № 5. – С. 18–29.
5. O'Brien K. Imagesetters and beyond: CTP options for quick printers // *Amer. Print*. – 2001. – 226, № 4. – P. 50, 52, 54.
6. Позгорельский В. Новинки цифровой печати на выставке Drupe 2000 // *КопьюПринт*. – 2000. – № 3-4. – С. 21–25, 28–37.
7. Кувишинов М. Постановка задачи построения рабочего потока // *КопьюПринт*. – 1998. – № 3. – С. 46–50.
8. Dreyer R. OPAS-G: Logistiksystem für den Multimedia-Workflow // *Dtsch. Druker*. – 2001. – 37. – № 19. – P. 46–51.
9. Глибовець М.М., Олецький О.В. Штучний інтелект. – К.: Вид. дім “КМ Академія”, 2002. – 366 с.
10. Вариченко Л.В., Дунець Р.Б., Раков М.А., Томин Ю.А. Принципы построения процессоров для цифровой обработки сигналов // *Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов*. – Т. II – Рига, 1983. – С.270–273.
11. Максимович Н.Г. Теория графов и электрические цепи. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1987. – 216 с.
12. Анисимов В.И. Топологический расчет электронных схем. – Л.: Энергия, 1977. – 240 с.
13. Khalimsky E. Topological complexes on analysis and design of large scale systems // *IEEE Int. Conf. Syst., Mans and Cybern.* – Cambridge. – 1989. – Vol.1. – P.390–392.
14. Вавилов А.А., Имаев Д.Х. Машинные методы расчета систем управления. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 232 с.
15. Рак Ю.П. Малі друкарські системи: прогнозування, аналіз, синтез. – Київ: Наукова думка, 1999. – 256 с.
16. Дунець Р.Б. Алгоритм пошуку контурів у топології схем систем керування // *Поліграфія і видавнича справа*. – 1997. № 32. – С. 103–108.
17. Дунець Р.Б. Алгоритм пошуку компонентів схем, які утворюють елементарні контури різної довжини // *Поліграфія і видавнича справа*. – 1998. – № 34. – С.164–169.