

Безклубенко Ірина Сергіївна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, orcid.org/0000-0002-9149-4178

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Баліна Олена Іванівна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, orcid.org/0000-0001-6925-0794

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ КЕРОВАНОСТІ ПОТОКІВ В АВТОНОМНИХ ПІДГРАФАХ ДЕКОМПОЗОВАНОЇ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕРЕЖІ

***Анотація.** Розглянуто один із найбільш ефективних підходів до розв'язання задач математичного програмування в умовах великої розмірності – декомпозиційний підхід, згідно якого розв'язання основної задачі замінюється розв'язанням підзадач меншого розміру. Декомпозиційні методи при розв'язанні задач великого розміру дають можливість забезпечити раціональний режим обміну між оперативною і зовнішньою пам'яттю (при розв'язанні кожної окремої підзадачі використовується тільки частина вхідних або проміжних даних). Як правило, розв'язання задач меншого розміру менш трудомістке з точки зору обчислення, тому що декомпозиційні методи забезпечують розчленування вхідної задачі на ряд простіших задач, що допомагає збільшити ефективність розв'язання задач великої розмірності звичайними методами, використовуючи їх в рамках декомпозиції. Запропоновано декомпозиційний алгоритм розрахунку області керованості потоків мережі, що декомпозується на дві підсистеми, пов'язані однією дугою.*

***Ключові слова:** інженерна мережа; двокритеріальна оптимізація; граф; декомпозиція; область керованості потоків*

Актуальність теми

Перед спеціалістами, які проектують та експлуатують сучасні мережеві системи, стоять задачі проектування мереж з урахуванням запасу пропускної спроможності і можливості оперативного змінення структури і параметрів магістральних та розподільних мереж в умовах зростаючої потреби в цільовому продукті. У зв'язку з цим виникає необхідність в стислий термін ефективно розв'язувати задачі щодо знаходження ресурсів для інтенсифікації роботи інженерних мереж, вже на стадії проектування визначати оптимальні характеристики і параметри ліній зв'язку, джерел цільового продукту, регуляторів, визначати можливість ліквідації аварійних ситуацій, визначати функціональні алгоритми роботи мереж в умовах автоматичного управління. Для сучасних планів містобудування характерна раціональна структура міської мережі комунального господарства, яка полягає в розчленуванні мережі на підсистеми, кожна з яких є мережею комунального господарства мікрорайону. Мережі мікрорайонів з'єднані між собою однією або декількома магістралями, але можуть функціонувати і автономно. Спроектвана

таким чином мережа забезпечує високі показники з точки зору ремонтпридатності і надійності, а також надає широкі можливості для оперативного керування.

Мета статті

Мета роботи полягає у визначенні границь, в межах яких знаходиться область керованості потоків інженерної мережі, яка описана математичною моделлю (1) – (4) [7; 11]. Оскільки безпосереднє розв'язання поставленої задачі недекомпозиційними алгоритмами пов'язано з великими труднощами та не є ефективним, метою дослідження є також розробка декомпозиційного алгоритму розрахунку області керованості потоків мережі, що розглядається.

Робота є розвиненням думок, що викладено в [7], де була побудована математична модель інженерної мережі, яка базується на двох вартісних критеріях. Один критерій відображає потребу мінімізації фінансових витрат на будівництво і експлуатацію мережі з метою забезпечення поставлених під час проектування потреб в цільовому продукті. Другий відображає потребу на перспективний розвиток системи в майбутньому від досягнутого рівня.

Виклад основного матеріалу

Важливою характеристикою мережі, що проектується, є область керованості потоків. Для мережі, яка декомпозується, область керованості в автономних підграфах визначається діапазоном змін потоків в дугах, які зв'язують автономні підграфи мережі при всіх можливих розподілах потоків системи [2; 3].

У статті розглядається декомпозиційний алгоритм розрахунку області керованості потоків мережі, що декомпозована на дві підсистеми, зв'язані однією дугою.

Нехай матриця $A = \{\alpha_{ij}\}_{ij}^{m,n} = 1$ – матриця інцидентій орієнтованого графа G розглянутої мережі. В даному випадку матриця A може бути представлена у вигляді:

$$\begin{aligned} &[\check{A}Y^T\check{A}, \text{де } \check{A} = \{A^{(1)}, \bar{0}\}, \\ &\hat{A} = \{A^{(2)}, \bar{0}\}, \\ &A^{(1)} = \{\alpha_{ij}\}_{i,j=1}^{g,p-1} \end{aligned}$$

де $A^{(2)} = \{\alpha_{ij}\}_{i=g+1,j=p+1}^{m,n}$ – матриці інцидентій автономних підграфів $G^{(1)}G^{(2)}$; вектор $Y^T = (\alpha_{1p}, \dots, \alpha_{mp})$ – інцидент p -ї дузі, яка з'єднує s -у вершину $G^{(1)}$ з t -ю вершиною $G^{(2)}$; $\alpha_{tp} = -1, \alpha_{ip} = 0, i \neq s \neq t$.

Цикломатична матриця B графа $G = G^{(1)} \cup Y^T \cup G^{(2)}$ в даному випадку має вигляд:

$[\check{B}\bar{0}\hat{B}]$, де $\check{B} = \{B^{(1)}, \bar{0}\}, \hat{B} = \{B^{(2)}, \bar{0}\}$, а $B^{(1)}$ і $B^{(2)}$ – цикломатичні матриці відповідно підграфів $G^{(1)}$ і $G^{(2)}$, а $\bar{0}$ – нульовий вектор.

Математична модель усталеного потокорозподілу запишеться на основі законів Кірхгофа [3]. Нехай $x = (x_1, \dots, x_n)$ – вектор витрат цільового продукту, $h = (h_1, \dots, h_n)$ – вектор тисків, $R = (r_1, \dots, r_n)$ – відомий вектор опорів. Тоді послідовна (витрати цільового продукту) і паралельна (тиск) "змінні" зв'язані такою системою умов: $A \times x = 0, B h = 0, h = R x^2$, причому значення компонент

$x_j \in [d_{j(h)}, d_{j(b)}], h_j \in [g_{j(h)}, g_{j(b)}], j = \bar{1}, n$ обмежені відповідними величинами.

Перепишемо отримані умови, враховуючи структуру матриць A і B , знаходячи змінну x_p (витрати цільового продукту по дузі p , яка з'єднує підграфи $G^{(1)}$ і $G^{(2)}$):

$$-\sum_{j=1}^{p-1} s_j x_j = \sum_{j=p+1}^n s_j x_j = X_p; \quad (1)$$

$$R_1: \begin{cases} \bar{A}^{(1)} x^{(1)} = 0 \\ \bar{B}^{(1)} h^{(1)} = 0 \\ h^{(1)} = R^{(1)} (x^{(1)})^2 \end{cases}; \quad (2)$$

$$R_2: \begin{cases} \bar{A}^{(2)} x^{(2)} = 0 \\ \bar{B}^{(2)} h^{(2)} = 0 \\ h^{(2)} = R^{(2)} (x^{(2)})^2 \end{cases}; \quad (3)$$

де $\bar{A}^{(1)}$ – являє собою матрицю $A^{(1)}$ без s -го рядка, а $\bar{A}^{(2)}$ – матрицю $A^{(2)}$ без t -го рядка, $x^{(1)} = (x_1, \dots, x_{p-1})$ і $x^{(2)} = (x_{p+1}, \dots, x_n)$ відповідні підвектори, а $x = (x_1, \dots, x_n)$, а $R^{(1)} = (r_1, \dots, r_{p-1}), R^{(2)} = (r_{p+1}, \dots, r_n)$ відповідні підвектори $R = (r_1, \dots, r_n)$.

Нехай потокорозподіл мережі керується цифровим регулятором, що встановлений в p -ї дузі графа G , який зв'язує автономні підграфи $G^{(1)}$ і $G^{(2)}$. Тоді на значення змінної x_p , без обмеження загальності, може бути накладена умова:

$$x_p = 0 \pmod{1}. \quad (4)$$

Для визначення області керованості досліджуваної мережі, що описана моделлю (1) – (4) необхідно знайти цілі числа

$$\begin{aligned} d_{(h)} &= \min \{x_p | (x_1, \dots, x_p, \dots, x_n) \in D\}; \\ d_{(b)} &= \max \{x_p | (x_1, \dots, x_p, \dots, x_n) \in D\}, \end{aligned}$$

де D – множина потоків $x = (x_1, \dots, x_n)$, які допустимі по системі обмежень (1) – (4). Безпосереднє розв'язання цієї задачі відомими методами ускладнюється, враховуючи велику розмірність мереж, і взагалі не є ефективним.

Розглянемо декомпозиційний алгоритм, оснований на методології послідовного аналізу рішень [1].

Крок k ($k = 1, 2, \dots$). Використовуючи отримані на $k(k-1)$ -м кроці алгоритма значення $d_{(h)}^{(k-1)}$ і $d_{(b)}^{(k-1)}$, розв'яжемо такі задачі математичного програмування:

$$\begin{aligned} d_{(h)}^e &= \min \{x_p | d_{(h)}^{(k-1)} \leq x_p \leq d_{(b)}^{(k-1)}\}; \\ d_{(b)}^{l(k)} &= \max \{x_p | d_{(h)}^{(k-1)} \leq x_p \leq d_{(b)}^{(k-1)}\}, \end{aligned}$$

при обмеженнях R_l системи (2) – (4), $e=1, 2$.

Слід зауважити, що ці задачі математичного програмування значно простіші за вхідну задачу, оскільки незалежно розв'язуються на відповідних підграфах $G^{(1)}$ і $G^{(2)}$ (відповідно обмеження R_1 і R_2 системи (1 – 4)).

Уточнені значення меж $d_{(h)}^{(k)}$ і $d_{(b)}^{(k)}$ виберемо відповідно з умов:

$$\begin{aligned} d_{(h)}^{(k)} &= \left[\max \{d_{(h)}^{1(k)}, d_{(h)}^{2(k)}\} \right]; \\ d_{(b)}^{(k)} &= \left[\min \{d_{(b)}^{1(k)}, d_{(b)}^{2(k)}\} \right], \end{aligned}$$

де $[.]$ – ціла частина числа, а $\lceil . \rceil$ – найменше ціле, яке не менше за дане число.

Межі $d_{(h)}^{(0)}, d_{(b)}^{(0)}$, необхідні на першому кроці алгоритму, визначаються як $d_{(h)}^{(0)} = -M, d_{(b)}^{(0)} = M$,

де M – достатньо велике число, що значно перевищує гранично можливий потік. Умовою завершення функціонування алгоритму будемо вважати виконання рівностей $d_{(h)}^{(k_0)} = d_{(h)}^{(k_0-1)}, d_{(b)}^{(k_0)} = d_{(b)}^{(k_0-1)}$. Крок k_0 будемо називати кінцевим, неважко довести, що $k_0 \leq M$.

Висновки

Запропоновано декомпозиційний алгоритм розв'язання сепарабельної задачі поточкорозподілу інженерної мережі з урахуванням її блочної структури. Обґрунтовано застосування декомпозиційного алгоритму у випадку декомпозиції мережі на дві підсистеми, зв'язані однією дугою, що дозволяє знайти межі області керованості потоків мережі. Головна перевага запропонованого алгоритму полягає в тому, що він дає можливість

розпаралелити загальний процес розв'язання таких задач при використанні багатопроекторних машинних комплексів. Впровадження такого методу, що призначений для фахівців, проектуючих мережеві системи, надасть можливість підвищити рівень їх надійності і ремонтоздатності. Слід зауважити, що запропонований декомпозиційний алгоритм розрахунку області керованості потоків розглянутої мережі може бути узагальнено на випадок довільної кількості автономних підсистем.

Список літератури

1. Михайлович В.С., Волкович В.Л. *Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем.* – М.: Наука, 1982. – 286 с.
2. Михайленко В.М. *Застосування функціонально-динамічних схем для моделювання інженерної мережі водопостачання міста* // В.М. Михайленко, А.П. Анпілогов, Ю.В. Кошарна // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. – 2007. – №27. – С. 8 – 13.
3. Евдокимов А.Т. *Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях* / А.Т. Евдокимов, А.Д. Термиев, В.В. Дубровский. – М.: Стройноздат 1990. – 368с.
4. Безклубенко І.С. *До питання вибору оптимального виробництва інженерної мережі / 4-та міжнародна науково-технічна конференція «Математика в сучасному університеті».* – К.: НТУ КПІ. – 2015 – 19 с.
5. Безклубенко І.С. *Завдання вектора напрямку розвитку інженерної мережі / О.І. Баліна. Тези доповіді V міжнар. наук.-практ. конф. // Математика в сучасному університеті.* – К.: НТУ КПІ грудень 2016 р.
6. Экенроде Р.Т. *Взвешенные многомерные критерии / Статическое измерение качественных характеристик:* / под редакцией К.М. Четиркина. – М., 1972. – С. 49 – 51.
7. Безклубенко І.С. *Завдання вектора переваги критеріїв при виборі варіанта проекту інженерної мережі. Управління розвитком складних систем.* – №30. – 2017.
8. Храменков С.В. *Стратегія модернізації водопровідної сеті.* / С.В. Храменков. – М.: Стройсудат. 2005.
9. Норенков И.П. *Основы автоматизированного проектирования: учебник для вузов, 2-с изд. перераб. и доп.* – М.: Изд МПТУ им. Баумана 2002. – 336 с.
10. Предум К.М. *Аналіз стану інженерних мереж та можливостей їх використання для потреб теплопостачання населених пунктів України / К.М. Предум // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання – 2012, №16.* – С. 67–71.
11. Безклубенко І. С. *Методи ранжування критеріїв в задачі оптимізації поточкорозподілу інженерної мережі // Управління розвитком складних систем.* – №34. – 2018.

Стаття надійшла до редколегії 21.03.2019

Безклубенко Ирина Сергеевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики, orcid.org/0000-0002-9149-4178

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Балина Елена Ивановна

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики, orcid.org/0000-0001-6925-0794

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ УПРАВЛЯЕМОСТИ ПОТОКОВ В АВТОНОМНЫХ ПОДГРАФАХ ДЕКОМПОЗИРУЕМОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕТИ

Аннотация. Рассмотрен один из наиболее перспективных подходов к решению задач математического программирования в условиях большой размерности – декомпозиционный подход, который предполагает поиск решения исходной задачи путем решения ряда в основном независимых подзадач меньшей размерности. Декомпозиционные методы при решении задач большой размерности позволяют организовать рациональный обмен между оперативной и внешней памятью (при решении каждой отдельной подзадачи используется только определенная часть исходных или промежуточных данных), дают возможность в значительной степени распараллелить общий процесс решения этих задач. Как правило, решение задачи меньшей размерности менее трудоемко с вычислительной точки зрения, поэтому декомпозиционные методы обеспечивают расчленение исходной задачи на ряд более простых задач, что позволяет повысить эффективность решения задачи большой размерности обычными методами в рамках декомпозиции. Предложен декомпозиционный алгоритм расчета области управляемости потоков сети, которая декомпозируется на два подграфа, связанных одной дугой.

Ключевые слова: инженерная сеть; двухкритериальная оптимизация; граф; декомпозиция; область управляемости потоков

Bezklubenko Irina

PhD, Associate Professor of the Department of Engineering, PM, orcid.org/0000-0002-9149-4178
Kyiv National University Construction and Architecture, Kyiv

Balina Olena

PhD, associate professor, associate professor of department of geoinformatic, orcid.org/0000-0001-6925-0794
Kyiv National University Construction and Architecture, Kyiv

DETERMINING THE DOMAIN OF CONTROLLABILITY OF FLOWS IN AUTONOMOUS SUBGRAPHS OF A DECOMPOSABLE ENGINEERING NETWORK

Abstract. One of the most effective approaches to the solution of problems of mathematical programming in the context of a large dimensional-decomposition approach is considered, according to which the solution of the main problem is replaced by the solution of subtypes of smaller size. Democratic methods in solving problems of large size give an opportunity to provide a rational mode the exchange between the operational and external memory (when solving each individual subtask, only part of the input or intermediate data is used). As a rule, the solving of smaller tasks the size is less laborious from the calculated point of view, because the decomposition methods provide the dismemberment of the input problem to a number of simpler tasks, which allows to increase the efficiency of solving large-dimensional problems by conventional methods, using them within the framework of decomposition. The proposed decomposition algorithm for calculating the domain controllability of network flows, which decomposes into two subsystems, connected by one arc.

Keywords: engineering network; two-criteria optimization; vector advantages criteria; ranging

References

1. Mikhaylevich, V.S. & Volkovich, V.L. (1982). *Computational methods of research and design of complex systems*. Moscow, 286.
2. Mikhailenko, V.M., Ampilogolov A.P. & Kosharna Yu.V. (2007). *Application of Functional-Dynamic Circuits for Modeling the Urban Water Supply Network Engineering*. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, 27, 8-13.
3. Evdokimov, A.T., Termiev A.D. & Dubrovsky, V.V. (1990). *Modeling and optimization of flow distribution in engineering systems*. Moscow, Stroyzdat, 368.
4. Bezklubenko, I.S. (2015). *On the question of choosing the optimal production engineering network / 4 th international / conference math in modern university*. Kyiv, NTU KPI, 19.
5. Bezklubenko, I.S. (2016). *Problems of the vector of the direction of development of the engineering network / D.I. Bamna, abstracts of the report Vimzh naro. scientific - practical konf. "mathematics at a modern university"* Kyiv, NTU KPI.
6. Enzo, R.T. (1972). *Weighted Multidimensional Criteria / Static Measurement of Qualitative Characteristics / edited by K.M. Chetyrkin*. Moscow, with. P. 49-51
7. Bezklubenko, I.S. (2017). *The task of the vector of advantage of the criteria when choosing a variant of the project engineering network. Management of the development of complex systems*. Kyiv, 30.
8. Khramenkov, S.V. (2005). *The strategy of modernization of the plumbing network*. Moscow, Stroussudat.
9. Norenkov, I.P. (2002). *The fundamentals of computer-aided design: a textbook for high schools, 2nd edition of the revised and supplemented*. M.I. MPTU them. Bauman, 336.
10. Preum, K.M. (2012). *Analysis of the state of engineering networks and their possibilities for heat supply needs of settlements of Ukraine. Ventilation, lighting and heat-and-gas supply*, 16, 67-71.
11. Bezklubenko, I.S. (2018). *Methods of ranking criteria in the optimization problem of flow distribution of the engineering network. Management of development of complex systems*, 34.

Посилання на публікацію

- APA Bezklubenko, Irina & Balina, Olena. (2019). *Determining the domain of controllability of flows in autonomus subgraphs of a decomposable engineering network*. *Management of Development of Complex Systems*, 38, 33 – 36, [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.9788432](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9788432).
- ДСТУ Безklubenko I.C. *Визначення області керованості потоків в автономних підграфах декомповованої інженерної мережі [Текст] / I.C. Безklubenko, O.I. Баліна // Управління розвитком складних систем. – 2019. – №38. – С. 33 – 36, [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.9788432](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9788432).*