

О. Є. Пономаренко, В. О. Горбачов

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МЕТОД ПОШУКУ ВУЗЬКИХ МІСЦЬ В СКЛАДНИХ МЕРЕЖАХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ

Анотація. В складних мережах існує проблема пошуку вузьких місць. Існує багато сфер застосування задачі виявлення вузьких місць, наприклад, алгоритми для виявлення спільнот, розуміння формування груп та зменшення перевантаження у транспортних мережах. **Метою роботи** є дослідження методу пошуку вузьких місць в складних мережах. Актуальність роботи полягає в тому, що пошук вузьких місць є масштабною задачею для складних мереж. В роботі були вирішені наступні задачі: дослідження методів пошуку вузьких місць в мережі; здійснення пошуку вузьких місць в початковій та зменшеній мережі; вимірювання часу вирішення задачі; перевірка збереження розташування вузьких місць після зменшення мережі. В результаті роботи були досліджені методи пошуку вузьких місць в мережі; був здійснений пошук вузьких місць в початковій та зменшеній мережі; було здійснено вимірювання часу вирішення задачі та була здійснена перевірка збереження розташування вузьких місць в зменшеній мережі. Дослідження дозволяють зробити **висновки**: був здійснений пошук вузьких місць в початковій та зменшеній мережі, на розглянутих прикладах час пошуку вузьких місць зменшився, та розташування вузьких місць зберіглося в зменшеній мережі. Таким чином, в результаті зменшення мережі здійснюється підвищення ефективності обчислювальних ресурсів.

Ключові слова: метод; модель; комп'ютерна мережа; структура; вузькі місця; потік.

Вступ

Пошук вузьких місць є однією з масштабних обчислювальних проблем у складних мережах [1]. Аналіз вузьких місць в мережах є важливим завданням для багатьох сфер при плануванні та інженерії. Проблема пошуку вузьких місць у транспортних мережах часто виникає в реальних задачах, наприклад, у плануванні виробництва. Однією з цілей проектування виробничої системи є виявлення недоліків у схемі на ранній стадії планування. Важливим фактором є виявлення та усунення вузьких місць [2].

Складні мережі характеризуються універсальністю для представлення майже будь-якої природної структури [3]. Висока розмірність мереж може викликати проблеми при їх моделюванні та аналізі. Для вирішення цих проблем існують методи зменшення мереж [4].

Таким чином, пошук вузьких місць в складних мережах є актуальною та важливою задачею.

Дана робота присвячена методу пошуку вузьких місць в складних мережах, здійсненню пошуку вузьких місць у початковій та зменшеній мережі, перевірці збереження розташування вузьких місць та порівнянню часу вирішення задачі.

Аналіз літератури

Багато систем структуровані у формі мереж, наприклад, великі комунікаційні системи, транспортна інфраструктура, біологічні системи [5].

Візуалізація є корисним інструментом для аналізу мереж, що дозволяє побачити важливі структурні особливості мережі. Існують різноманітні інструменти візуалізації, які допомагають структурувати, та візуалізувати мережі [6]. Та візуалізація може бути корисною лише для мереж із кількома сотнями чи тисячами вершин та невеликою кількістю дуг. Якщо в мережі дуже багато вершин або дуг,

то зображення мережі будуть надто складними для сприйняття, та ефективність візуалізації стає обмеженою. В таких випадках потрібно використовувати інші методи для аналізу мереж [7].

Складні мережі мають певні топологічні характеристики. Для аналізу та генерації складних мереж використовуються метрики, які здатні передати найбільш відповідні топологічні характеристики [3].

Складні мережі можуть мати дуже високу розмірність, що може призвести до проблем при моделюванні, аналізі, а також проблем, пов'язаних з обмеженими обчислювальними можливостями та ємністю зберігання. Ці проблеми стимулюють розробку методів зменшення складності мереж [4].

Автори в роботі [4] надають огляд досягнень у зменшенні розмірності складних мережесистем. Складність полягає у двох аспектах, а саме: великомасштабна топологія та підсистеми високої розмірності, що призводить до двох типів проблем зменшення моделі мережі. Перша проблема полягає в тому, щоб спростити складну мережесистему шляхом зменшення кількості вузлів. Методи зменшення, засновані на кластеризації та агрегації, є основними для зменшення топологічної складності. Друга проблема полягає в тому, щоб зменшити розмірність окремих підсистем у мережі.

В роботі [8] автори пропонують метод для зменшення розміру складної мережі зі збереженнями модульності, перевагою якого є покращення обчислювальних витрат.

У роботі [9] автори описують агрегацію мережі, результатом якої є початкова мережа та мережа, яка була отримана в результаті агрегації.

В роботі [10] автори пропонують алгоритм для зменшення розміру великих мереж масового обслуговування, метою якого є більш ефективне моделювання мережі. У багатьох мережах масового обслуговування показники продуктивності представляють інтерес лише для невеликої кількості вузлів мережі,

а інші вузли представляють інтерес лише в тому, як вони впливають на показники продуктивності основних вузлів. Підхід полягає в тому, щоб розділити мережу масового обслуговування на дві підмережі: підмережу, яка містить основні вузли та підмережу, яка містить решту вузлів.

Пошук вузьких місць є однією з великих проблем у складних мережах. Пошук та аналіз вузьких місць в мережах є важливим завданням для багатьох сфер, наприклад, алгоритми для виявлення спільнот, розуміння формування груп та зменшення перевантаження у транспортних мережах [1].

Вузькі місця – це точки перевантаження системи, які сповільнюють весь ланцюг роботи. Необхідно усунути вузькі місця, щоб покращити продуктивність системи. Таким чином, ідентифікація та усунення вузьких місць є важливою задачею [11].

У роботі [11] автори розглядають методи виявлення вузьких місць. Метод вимірювання середнього часу очікування виявляє пристрій з найдовшим часом очікування як вузьке місце. Метод вимірювання середнього робочого навантаження виявляє пристрій з найбільшим використанням як вузьке місце. Метод вимірювання середньої тривалості активності виявляє пристрій з найдовшою середньою тривалістю активності як вузьке місце. Метод виявлення вузьких місць зміщення виявляє пристрій з найдовшим періодом активності як вузьке місце та ідентифікує його як вузьке місце зміщення.

Дослідження проблеми контролю перевантажень для мереж базуються на тому, що продуктивність потоку визначається станом його дуги, що є вузьким місцем. Дуга, пропускна здатність якої використовується повністю, завжди є вузьким місцем принаймні одного потоку, що проходить через неї [12].

Автори у [13] описують мережі ланцюгів поставок як складні системи фірм та їхніх постачальників. Автори розглядають метрики на основі теорії мереж для виявлення вузьких місць у мережі. У теорії графів існують метрики для визначення центральності вузлів відповідно до їх положення у мережі, а саме: центральність за ступенем, центральність за посередництвом та центральність за близькістю. Ці метрики допомагають визначити відносну важливість вузлів у мережі [13].

Автори у [14] розглядають приклад використання центральності за посередництвом у телекомунікаційній мережі. Вузол із більш високим значенням центральності за посередництвом має більше контролю, та через нього може передаватись більше інформації. Таким чином, можна знайти ті вузли, які мають найбільший вплив на мережу. Автори у [14] пропонують алгоритм на основі кластеризації для вирішення проблеми ідентифікації впливових вузлів у складних мережах за допомогою центральності за посередництвом. Автори обчислюють міру центральності у підграфах, що скорочує час обчислення.

Метою роботи є дослідження методу пошуку вузьких місць в складних мережах. В ході дослідження вирішуються наступні завдання: дослідження методів пошуку вузьких місць в мережі, здійс-

нення пошуку вузьких місць в початковій та зменшеній мережі, вимірювання часу вирішення задачі, перевірка збереження розташування вузьких місць після зменшення мережі.

Опис методу пошуку вузьких місць в мережі

Визначення мережі. $N = \langle L, F, V, C \rangle$ є мережею, якщо виконуються наступні умови [12]:

- V – це множина, яка називається множиною вузлів $\{v_1, v_2, \dots, v_{|V|}\}$, $|V| = K$;
- L – це набір дуг у вигляді $\{l_1, l_2, \dots, l_{|L|}\}$, $L \subseteq V \times V$: якщо не вказано інше, дуги спрямовані, тобто $(i, j) \neq (j, i)$;
- F – множина потоків у вигляді $\{f_1, f_2, \dots, f_{|F|}\}$;
- C – набір значень у вигляді $\{c_l, \forall l \in L\}$, c_l – пропускна здатність дуги l [12].

Кожен потік f проходить через підмножину дуг $L_f \subset L$, та кожна дуга l проходить через підмножину потоків $F_l \subset F$. Кожен потік f передає дані зі швидкістю r_f . Обмеження пропускної здатності має виконуватися для всіх $l \in L$ [12]:

$$\sum_{f \in F} r_f \leq c_l. \quad (1)$$

U – це набір значень у вигляді $\{u_j, \forall j \in V\}$, де u_j – це поріг насичення вузла j , $u_j \in [0, 1]$. Кожен потік f проходить через підмножину вузлів $V_f \subset V$, та кожен вузол j проходить через підмножину потоків $F_j \subset F$. Якщо u_f – це використання вузла j для потоку f , то обмеження використання має виконуватися для всіх $j \in V$:

$$\sum_{f \in F} u_f \leq u_j. \quad (2)$$

Визначення дуги як вузького місця. $N = \langle L, F, V, C \rangle$ є мережею, де кожен потік $f \in F$ передає дані зі швидкістю r_f . Дуга l є вузьким місцем потоку f якщо виконуються наступні умови [12]:

- потік f перетинає дугу l ;
- $\partial r_f / \partial c_l \neq 0$, тобто швидкість передачі потоку f змінюється при невеликих зменшеннях пропускної здатності дуги l ;
- обмеження (1) не виконується.

Визначення вузла як вузького місця. $N = \langle L, F, V, C \rangle$ є мережею, де кожен потік f проходить через підмножину вузлів $V_f \subset V$, та через кожен вузол j проходить підмножина потоків $F_j \subset F$. Вузол j є вузьким місцем потоку f якщо виконуються наступні умови:

- потік f перетинає вузол j ;
- $\partial r_f / \partial u_j \neq 0$, тобто швидкість передачі потоку f змінюється при невеликих зменшеннях використання вузла j ;
- обмеження (2) не виконується.

Для розрахунку використання вузла можна використати закон використання [15]:

$$U_j = X_j S_j, \quad (3)$$

де X_j – пропускна здатність вузла j , S_j – середній час обслуговування запитів у вузлі j , U_j – використання вузла j , X_j , S_j , U_j – середні значення за період спостереження T .

Рівняння з урахуванням балансу потоків [15]:

$$U_i = \lambda_i S_i. \quad (4)$$

Визначення критичного насичення вузла. Вузол $j \in V$, де V – це набір системних вузлів, є критично насиченим протягом періоду спостереження T , якщо його використання перевищує поріг насичення u_j для цього інтервалу T .

Модель балансу потоків мережі. Проблема, яка розглядається, відноситься до оцінки параметрів продуктивності окремого вузла або всієї мережевої системи. Оцінка параметрів продуктивності полягає у зв'язуванні параметрів продуктивності з певними рівняннями. Для даного випадку це система рівнянь балансу потоків.

Змінні та обмеження моделі збалансованого потоку. Частота маршрутизації q_{ij} у квадратній матриці Q з елементом q_{ij} визначається як [15]:

$$q_{ij} = \begin{cases} \frac{C_{ij}}{C_i}, & \text{if } i = \overline{1, K} \\ \frac{A_{0j}}{A_0}, & \text{if } i = 0 \end{cases}, \quad j = \overline{0, K}, \quad (5)$$

де C_{ij} – це кількість разів, коли запит надходить на обслуговування до вузла j відразу після завершення обслуговування у вузлі i .

Для будь-якого вузла i [15]:

$$q_{i0} + q_{i1} + \dots + q_{iK} = \sum_{j=0}^K q_{ij} = 1, \quad i = \overline{0, K} \quad (6)$$

Закон балансу потоків запитів для вузла i . Для кожного вузла i X_i дорівнює загальній вхідній швидкості до вузла i .

Коли потік запитів збалансований, X_i є пропускну здатністю вузла. Принцип балансу у вигляді рівняння [15]:

$$C_j = A_j = \sum_{i=0}^K C_{ij}, \quad i = \overline{0, \dots, K}, \quad (7)$$

де A_j – кількість вхідних запитів протягом періоду спостереження T у вузлі j .

Баланс потоку запитів дозволяє замінити C_{0j} на A_{0j} , та зважаючи на (5) [15]:

$$C_j = \sum_{i=0}^K C_i q_{ij} \quad (8)$$

Зважаючи на те, що $X_i = C_i/T$, рівняння балансу потоків запитів [15]:

$$X_j = \sum_{i=0}^K X_i q_{ij}, \quad j = \overline{0, K} \quad (9)$$

Підхід, який розглядається в статті, складається з трьох кроків:

- розв'язання системи лінійних рівнянь балансу потоків (9) та отримання пропускну здатність вузла X_j ;
- обчислення коефіцієнту використання вузла U_j враховуючи (3).
- знаходження підмножини вузлів, для яких коефіцієнт використання перевищує відповідний поріг насичення:

$$U_b \subset U, \quad (10)$$

де U_b є підмножиною вузлів, для яких значення коефіцієнту використання U_j перевищує відповідний поріг насичення u_j .

Загалом вибір вузла j у підмножину U_b можна описати виразом:

$$U_b = P(U_1, \dots, U_k), \quad (11)$$

де символ P описує різні стратегії формування підмножини U_b .

Пошук вузьких місць в початковій та зменшеній мережі

У роботі [16] була представлена програмна платформа з використанням якої можна згенерувати мережу, здійснити агрегацію мережі, здійснити статистичну обробку даних та вирішити задачу про пошук максимального потоку.

У цій роботі до програмної платформи додається модуль пошуку вузьких місць в мережі. Таким чином, програмна платформа складається з п'яти модулів: модуль генератора мережі, модуль агрегації, модуль статистичної обробки даних, модуль пошуку максимального потоку та модуль пошуку вузьких місць в мережі.

Структура програмної платформи представлена на рис 1.

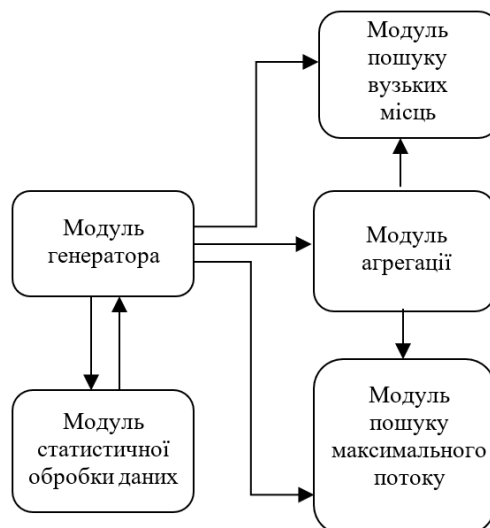


Рис. 1. Структура програмної платформи

- В модулі генератора мережі створюється структура мережі з заданими параметрами;
- в модулі агрегації здійснюється зменшення розмірності мережі;
- в модулі пошуку максимального потоку здійснюється пошук максимального потоку в початковій та зменшеній мережі;
- в модулі статистичної обробки даних здійснюється обчислення кількості дуг у графі та метрики розподілу ступенів;
- в модулі пошуку вузьких місць здійснюється пошук вузьких місць в початковій та зменшеній мережі.

Алгоритм експерименту пошуку вузьких місць в початковій та зменшеній мережі полягає у наступному:

- генерація мережі, що містить вузли $n_1, n_2, \dots, n_m$, здійснюється в модулі генератора програмної платформи;

– зменшення розмірності мережі здійснюється в модулі агрегації програмної платформи;

– пошук вузьких місць в початковій та зменшеній мережі здійснюється в модулі пошуку вузьких місць програмної платформи.

Пошук вузьких місць в мережі складається з наступних етапів:

– обчислення пропускну здатності вузлів X_i наступним чином: на основі графу складається система лінійних рівнянь, здійснюється вирішення системи лінійних рівнянь;

– обчислення коефіцієнтів використання вузлів по формулі (3).

Результат експерименту. Початкова мережа містить 30 вузлів.

Результат розрахунків коефіцієнтів використання вузла в початковій мережі представлений на рис. 2.

U11 = 0,665
U5 = 0,63
U1 = 0,595
U7 = 0,595
U3 = 0,56
U9 = 0,56
U13 = 0,525
U12 = 0,232
U27 = 0,161

Рис. 2. Результат розрахунків коефіцієнтів використання вузла в початковій мережі

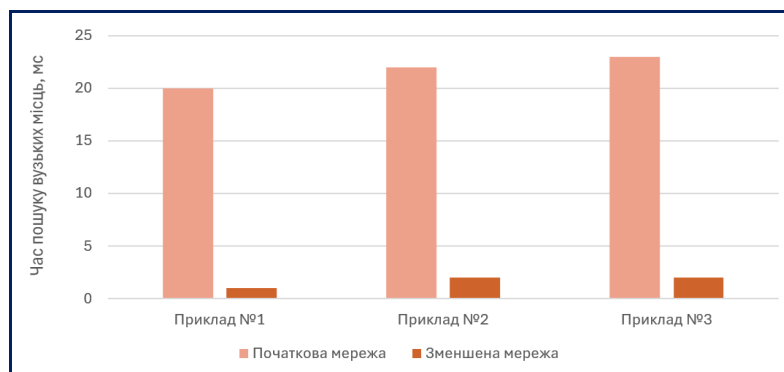


Рис. 4. Час пошуку вузьких місць в початковій та зменшеній мережі

Отже, в результаті зменшення розмірності мережі на продемонстрованих прикладах зберігається розташування вузьких місць в мережі, та час пошуку вузьких місць в мережі зменшується. Таким чином, можна зробити висновок, що в результаті зменшення розмірності мережі є підвищення ефективності обчислювальних ресурсів.

У мережах масового обслуговування метрики продуктивності представляють інтерес лише для невеликої кількості вузлів у мережі, інші вузли представляють інтерес у тій мірі, в якій вони впливають на показники продуктивності в основних вузлах [10]. У роботі автори розділяють мережу на дві підмережі: перша містить основні вузли, що представляють інтерес, друга містить інші вузли. При такому розділенні мережі на підмережі визначення розташування вузьких місць може бути корисним для аналізу мережі. Це може допомогти визначити,

У даному прикладі на початковій мережі вузли p_{11} та p_5 мають найвищі значення коефіцієнту використання вузла.

Мережа містить 15 вузлів після здійснення зменшення її розмірності.

Результат розрахунків коефіцієнтів використання вузла в зменшеній мережі представлений на рис. 3.

U6 = 0,871	component contains nodes: 11, 12
U3 = 0,72	component contains nodes: 5, 6
U5 = 0,661	component contains nodes: 9, 10
U7 = 0,632	component contains nodes: 13, 14
U1 = 0,595	component contains nodes: 1, 2
U4 = 0,595	component contains nodes: 7, 8
U2 = 0,56	component contains nodes: 3, 4

Рис. 3. Результат розрахунків коефіцієнтів використання вузла в зменшеній мережі

У даному прикладі на зменшеній мережі вузли p_6 та p_3 мають найвищі значення коефіцієнту використання вузла.

Підсистема p_6 містить вузол p_{11} початкової мережі, підсистема p_3 містить вузол p_5 початкової мережі, які є вузькими місцями в початковому графі.

Час пошуку вузьких місць на початковій мережі – 20 мс, час пошуку вузьких місць в зменшеній мережі – 0,78 мс. Час пошуку вузьких місць в початковій та зменшеній мережі для декількох прикладів продемонстровано на рис. 4.

чи є вузькі місця в підсистемі, яка містить вузли, що представляють інтерес.

Висновки

У роботі було здійснено дослідження методу пошуку вузьких місць у складних мережах. Також був здійснений пошук вузьких місць у початковій та зменшеній мережі, було здійснено вимірювання часу вирішення задачі та була здійснена перевірка збереження розташування вузьких місць у зменшеній мережі.

На розглянутих прикладах час пошуку вузьких місць зменшився, та розташування вузьких місць зберіглось у зменшеній мережі.

Таким чином, можна зробити висновок, що в результаті зменшення розмірності мережі є підвищення ефективності обчислювальних ресурсів. Подальша робота полягає у вирішенні наступних задач:

дослідження пошуку вузьких місць для мереж із більшою кількістю вершин, дослідження інших за- дач для аналізу складних мереж з метою підвищення ефективності обчислювальних ресурсів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Chalupa, D., Hawick, K. A. & Walker, J. A. (2018). Hybrid Bridge-Based Memetic Algorithms for Finding Bottlenecks in Complex Networks. *Big Data Research*, 14, 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2018.04.001>
- Post, T., Hamann, B. & Aurich, J. (2017). Ensemble Visualization of Bottlenecks in Planar Flow Networks. *Applied Mechanics and Materials*, 869, 234–243. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.869.234>
- Costa, L. da F., Rodrigues, F. A., Travieso, G. & Villas Boas, P. R. (2007). Characterization of complex networks: A survey of measurements. *Advances in Physics*, 56(1), 167–242. <https://doi.org/10.1080/00018730601170527>
- Cheng, X. & Scherpen, J. M. A. (2021). Model Reduction Methods for Complex Network Systems. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 4, 425–453. <https://doi.org/10.1146/annurev-control-061820-083817>
- Barrat, A., Barthelemy, M., Pastor-Satorras, R. & Vespignani, A. (2004). The architecture of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(11), 3747–3752. <https://doi.org/10.1073/pnas.0400087101>
- Hackl, J. (2017). tikz-network: a LaTeX library for vizualizing complex networks. 6th International Conference on Complex Networks & Their Applications, Lyon, France, 318–319.
- Newman, M. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199206650.001.0001>
- Arenas, A., Duch, J., Fernandez, A. & Gomez, S. (2008). Size reduction of complex networks preserving modularity. *New Journal of Physics*, 10(5), 053039. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/10/5/053039>
- Hirata, H. & Ulanowicz, R. E. (1985). Information Theoretical Analysis of the Aggregation and Hierarchical Structure of Ecological Networks. *Journal of Theoretical Biology*, 116(3), 321–341. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(85\)80271-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(85)80271-X)
- Shortle, J. F., Mark, B. L. & Gross, D. (2009). Reduction of Closed Queueing Networks for Efficient Simulation. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 19(3), 10. <https://doi.org/10.1145/1540530.1540531>
- Wang, Y., Zhao, Q. & Zheng, D. (2005). Bottlenecks in production networks: An overview. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 14(3), 347–363. <https://doi.org/10.1007/s11518-006-0198-3>
- Ros-Giralt, J., Amsel, N., Yellamraju, S., Ezick, J. R., Lethin, R. A., Jiang, Y., Feng, A. & Tassioulas, L. (2022). A quantitative theory of bottleneck structures for data networks. *arXiv preprint arXiv:2210.03534*. <https://arxiv.org/abs/2210.03534>
- Mizgier, K., Jüttner, M., & Wagner, S. (2012). Bottleneck identification in supply chain networks. *International Journal of Production Research*, 51(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.695878>
- Szabari, B. & Kiss, A. (2020). Performance Evaluation of Betweenness Centrality Using Clustering Methods. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Informatica*, 65(1), 51. <https://doi.org/10.24193/subbi.2020.1.05>
- Denning, P. J. & Buzen, J. P. (1978). The operational analysis of queueing network models. *ACM Computing Surveys*, 10(3), 225–261. <https://doi.org/10.1145/356733.356735>
- Пономаренко, О., Горбачов, В. (2023). Програмна платформа для оцінювання ефективності агрегації структурної моделі складних систем. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*, (3(25)), 79–87. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.25.079>

Received (Надійшла) 18.03.2025

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.06.2025

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Пономаренко Ольга Євгенівна – аспірантка кафедри електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

Olha Ponomarenko – PhD student, Department of Electronic Computers, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: olha.ponomarenko@nure.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0002-4634-6552>.

Горбачов Валерій Олександрович – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

Valeriy Gorbachov – PhD of Engineering Sciences, Professor, Professor of Department of Electronic Computers, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: valeriy.gorbachov@nure.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-3423-2371>.

Method for finding bottlenecks in complex networks to increase efficiency of computing resources

Olha Ponomarenko, Valeriy Gorbachev

Abstract. In complex networks, there is a problem of finding bottlenecks. There are many areas of application for the bottleneck detection problem, for example, algorithms for detecting communities, understanding group formation, and reducing congestion in transport networks. **The goal of the work** is to study the bottlenecks search method for complex networks. The relevance of the work lies in the fact that the bottlenecks searching is a wide problem for complex networks. The following tasks were solved in the work: research of methods for finding bottlenecks in the network; searching for bottlenecks in the initial and reduced network; measurement of the time to solve the problem; verification of the preservation of the bottleneck location after network reduction. As a result of the work, methods for finding bottlenecks in the network were investigated; searching for bottlenecks in the initial and reduced network was carried out; measurement of the time to solve the problem was carried out, and verification of the preservation of the location of bottlenecks on the reduced network was carried out. The studies allow us to **conclude**: searching for bottlenecks was carried out on the initial and reduced network; in the considered examples the time for bottlenecks searching was decreased, and the location of bottlenecks was preserved on the reduced network. Thus, as a result of the reduction of the network, the efficiency of computing resources is increased.

Keywords: method; model; computer network; structure; bottlenecks; flow.