

UDC 004.7

Кулаков Юрій,
Шудренко Євгеній,
Баринін Юрій

**МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМУ
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО УПРАВЛІННЯ ТРАФІКОМ
В ГІБРИДНИХ МАГІСТРАЛЬНИХ SDN/IP МЕРЕЖАХ**

**MODIFICATION OF ENERGY SAVING
TRAFFIC MANAGEMENT ALGORITHM IN
HYBRID MAINLINE SDN/IP NETWORKS**

Дана стаття присвячена вивченню та модифікації алгоритма HEATHE. Покращення сфокусовано на вихідному алгоритмі що представлений графом мережі за наявності функції пошуку сусідів по регіону та функції розподілу потоку.

Ключові слова: SDN, HEATHE, модифікація алгоритму, енергозбереження, трафік.

Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 13.

This article is devoted to the study and modification of the HEATHE algorithm. Improvement is focused on the output algorithm represented by the graph of the network in the presence of the search function of neighbors in the region and the distribution function of the flow.

Key words: SDN, HEATHE, modification of the algorithm, energy saving, traffic.

Fig.: 3. Tabl.: 1. Bibl.: 13.

Актуальність теми дослідження. У зв'язку зі стрімким поширенням хмарних технологій в приватний та бізнес сферах і, відповідно, високими темпами зростання мережевого трафіку, все більше мереж потребують централізованих, програмованих засобів управління для ефективного керування трафіком. Враховуючи також сектор мобільних пристроїв, які стали регулярно використовуватися для доступу до хмарних сховищ, постають проблеми ускладнення мереж та необхідності гнучкішого їх регулювання.

Постановка проблеми. В даній роботі буде розглянуто проблему енергозберігаючого керування трафіком в гібридних SDN/IP мережах, існуючі шляхи її вирішення та можливості щодо їх вдосконалення та прискорення. Загалом доведено, що поставлена задача є NP-повною при одночасній зміні як вагових коефіцієнтів так і коефіцієнтів розділення трафіку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із запропонованих евристичних алгоритмів є HEATHE [5], що базується на ідеї фіксації одного з параметрів, а саме оптимізації вагових коефіцієнтів OSPF каналів зв'язку, що дає можливість обрахувати коефіцієнт розділення трафіку за поліноміальний час. Основна мета алгоритму полягає у зниженні утилізації ліній передачі, що найменше завантажені з метою їх остаточного відключення і, як наслідок, економії енергії. При цьому здійснюється перевірка завантаженості залишкових каналів, беручи до уваги коефіцієнт максимально допустимої завантаженості β , на основі якого приймається рішення про статус чергової ланки зв'язку.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Вихідний алгоритм [5] може бути представлений наступним чином:

Вхідні дані: граф мережі $G(N, L)$, де N – набір вузлів, L – набір направлених фізичних ліній зв'язку; максимально допустима утилізація β та передача трафіку h_{vt} , де v – початковий вузол, а t – вузол призначення; початкова вага W ліній зв'язку.

1. Ініціалізувати набір вихідних зв'язків S вхідним набором $L: S \leftarrow L$.
2. Запуск функції *Пошуку сусідів по регіону* для оновлення вагових коефіцієнтів w_l
3. Для всіх вузлів $t \in N$ побудувати дерево найкоротших шляхів до всіх інших вузлів, знайти перший SDN-комутатори на шляху і розрахувати для нього вхідний потік I_{ut} .
 - 3.1. Запуск функції *Розподілу потоку* I_{ut} для SDN-комутатора u .
4. Видалити з набору активних зв'язок з найменшою утилізацією: $S = S - L$
5. Оновити утилізацію залишкових зв'язків, якщо жодна не перевищує граничного значення β , повернутися до пункту 2, інакше закінчити роботу алгоритму і повернути S .

Результат: набір активних ліній зв'язку S .

Функція пошуку сусідів по регіону:

Вхідні дані: Початковий набір вагових коефіцієнтів w_l , максимально можлива утилізація β .

1. Для заданої кількості ітерацій і розрахувати:
 - 1.1. Найкоротше дерево шляхів в мережі на основі вихідних коефіцієнтів w_l ;
 - 1.2. Утилізацію ліній зв'язку $u_l \leftarrow x_l/c_l$;
 - 1.2.1. Якщо $u_l < 0.3 \cdot \beta$, або $u_l \geq \beta$, збільшити вагу лінії $w_l = w_l + 1/i$.

Результат: Новий набір вагових коефіцієнтів w_l .

Функція розподілу потоку:

Вхідні дані: Найкоротший шлях від інших вузлів до вузла t , трафік x_l впродовж цього шляху, пропускна здатність c_l усіх ліній зв'язку цього шляху та перший SDN-сумісний комутатор u на ньому, вхідний потік трафіку I_{ut} , гранична утилізація лінії β .

1. Для першого SDN-комутатора u , якщо є k вихідних шляхів, обрахувати k_i найкоротший шлях і зберегти його до набору P .
2. Обрахувати пропускну здатність усіх шляхів, що $\in P$.
3. Сортувати набір шляхів P за зростанням пропускної здатності.
4. Розділити вхідний потік I_{ut} по лініям зв'язку з набору P у порядку від найменшої до найбільшої ємності, до тих пір, поки $I_{ut} > 0$.

Результат: Розподіл вхідного трафіку по k вихідним лініям зв'язку.

Постановка завдання. Нами запропонована модифікація цього алгоритму, що полягає у мінімізації обчислювальної складності алгоритму в цілому, та, зокрема, функції *Пошуку сусідів по регіону* за рахунок використання додаткової змінної в таблицях маршрутизації вузлів, що підтримують SDN. Ця змінна міститиме відомості про агреговану вагу шляху до пункту призначення пакетів, для кожного з доступних шляхів, динамічно оновлюючись на кожній

ітерації зміни ваг шляхів. Маючи таблицю усіх доступних шляхів від початкового вузла v до термінального вузла t , запропонована змінна дозволить легко та швидко оновлювати вартість чергового шляху у процесі функціонування алгоритму *Пошук сусідів по регіону*. На основі розширеної таблиці з сумарними вагами шляхів, SDN-комутатору v достатньо вибрати найкоротший шлях з таблиці, для доставки пакетів до вузла t . Таким чином виключається необхідність розрахунків дерева можливих шляхів на кожній ітерації циклу функції *Пошуку сусідів по регіону*, що суттєво зменшує кількість обчислень та дозволяє прискорити роботу алгоритму HEATNE в цілому. Останнє твердження очевидне, враховуючи різницю в часі пошуку значення в таблиці шляхів, та побудови чергового дерева шляхів за використання алгоритму Дейкстри.

Викладення основного матеріалу. Модифікована функція пошуку сусідів по регіону може бути представлена у вигляді алгоритму:

Вхідні дані: Початковий набір вагових коефіцієнтів w_l , максимально можлива утилізація β .

1. Розрахувати дерево найкоротших шляхів в мережі на основі початкових вагових коефіцієнтів w .

2. Для заданої кількості ітерацій i розрахувати:

2.1. Утилізацію ліній зв'язку $u_l \leftarrow x_l/c_l$:

2.1.1. Якщо $u_l < 0.3 \cdot \beta$, або $u_l \geq \beta$, збільшити вагу лінії $w_l = w_l + 1/i$.

2.1.2. Оновити значення сумарної ваги шляху в таблицях маршрутизації.

Результат: Ініціалізовані остаточні значення ваг шляхів в таблицях маршрутизації.

За рахунок зменшення кількості обчислень найкоротших шляхів мережі в $i - 1$ разів, обчислювальна складність функції *Пошуку сусідів по регіону* знижується в $\sim(i - 1)^2$ разів, так як розрахункова складність побудови дерева найкоротших шляхів - $O(n^2)$, де, в даному випадку, n - кількість вершин вхідного графу мережі.

Моделювання за допомогою програмних засобів показало прискорення виконання модифікованого алгоритму HEATNE на 20 – 30% в залежності від кількості вузлів у мережі. Графік залежності прискорення від розмірності вхідного графу показано на рис. 1. Окрім цього проведено також порівняльний аналіз часу виконання вихідного алгоритму та модифікованого варіанту, як відображено на рис. 2.

При цьому варто відмітити, що зберігання додаткового значення довжини шляху у форматі одинарної точності з плаваючою комою потребуватиме ~ 4 байти/комірку, що збільшить загальні витрати пам'яті на $\sim 2/n^2$, де n - кількість вузлів мережі. Дана залежність відображена на рис. 3, що є результатом прикладного тестування витрат пам'яті моделюючою програмою для різної величини мережі. Основою для побудови залежності є відношення витрат пам'яті за використання вихідного алгоритму HEATNE та модифікованої версії. Як видно з малюнка, при збільшенні кількості вузлів мережі, об'єм пам'яті, що виділяється під комірки для зберігання змінної-ваги шляху, є незначною величиною, котрою цілком можна знехтувати.

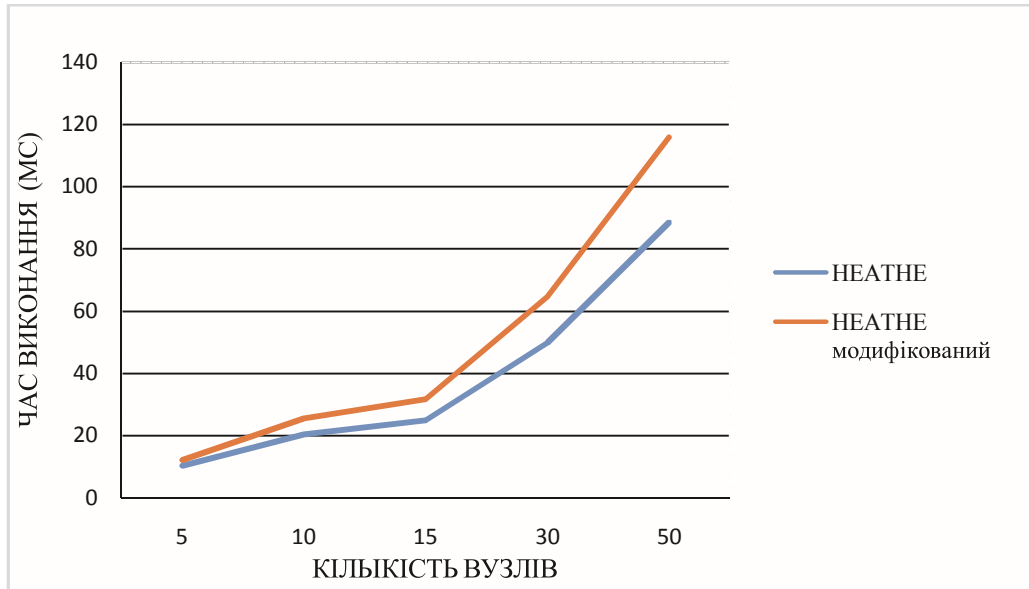


Рис. 1 Порівняння часу виконання обох версій алгоритму

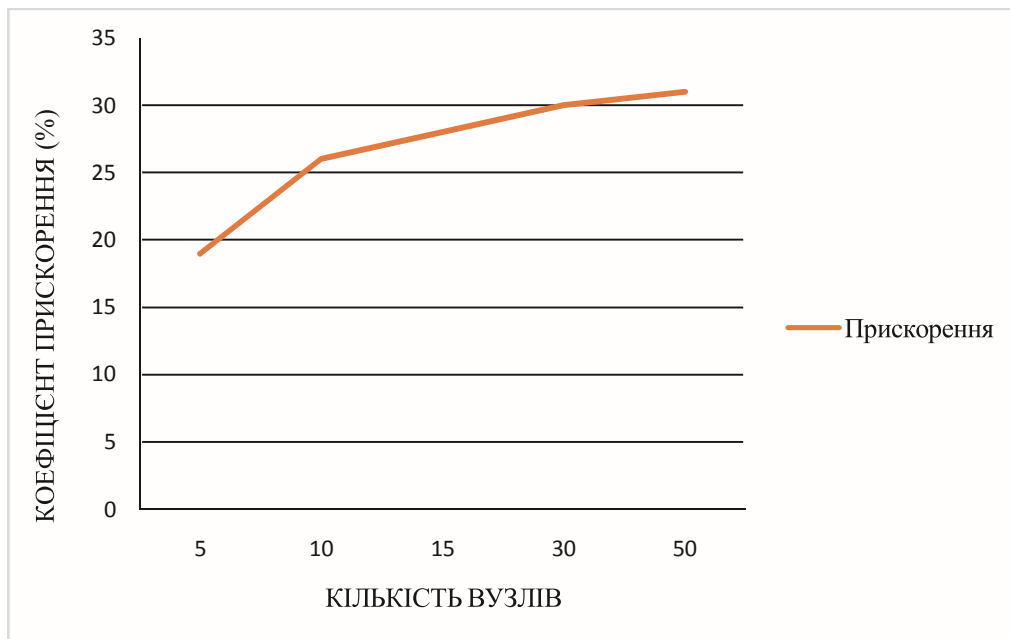


Рис. 2. Залежність прискорення алгоритму від величини мережі

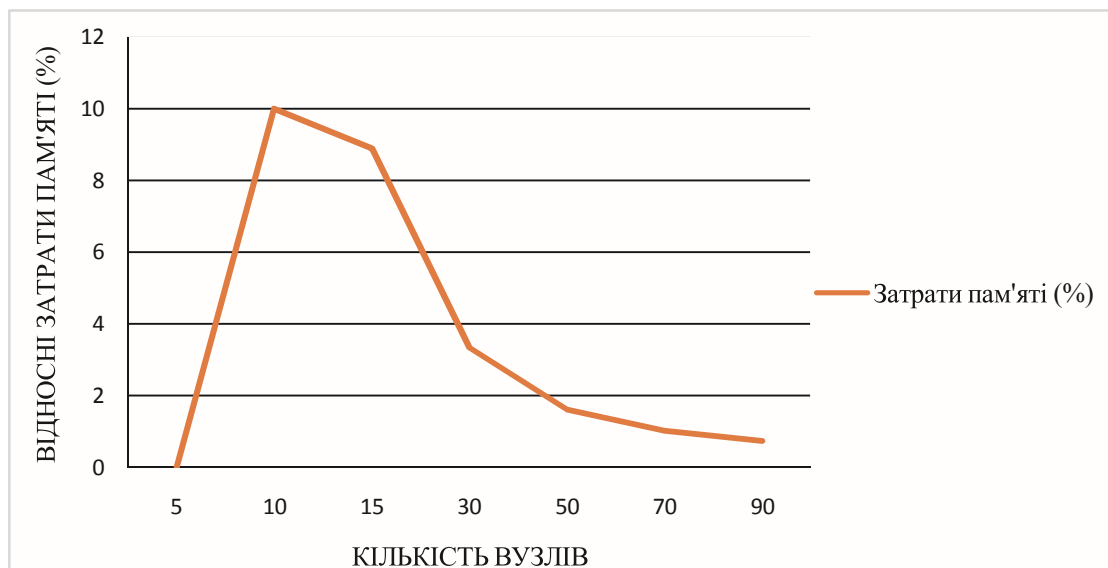


Рис. 3. Залежність зростання витрат пам'яті для модифікованого алгоритму

Висновки. В результаті проведених досліджень можна стверджувати, що застосування модифікованого алгоритму HEATHE з використанням змінної для зберігання сумарної ваги шляху в таблиці маршрутизації дає перевагу над вихідним алгоритмом в швидкодії, вимагаючи лише незначного об'єму пам'яті для зберігання даних та не ускладнюючи при цьому загальну концепцію алгоритму і не збільшуючи його обчислювальну складність. Враховуючи евристичний характер алгоритму HEATHE, можна також стверджувати про доцільність та ефективність застосування запропонованої модифікації алгоритму.

Список використаних джерел

1. Kamal B. Software-defined networking (SDN): a survey [Електронний ресурс] / B. Kamal, E. Abdeslam, E. E. Abdelbaki // John Wiley & Sons Ltd. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/sec.1737>.
2. Salsano S. Hybrid IP/SDN networking: open implementation and experiment management tools [Електронний ресурс] / S. Salsano, P. Ventre // IEEE Transaction of Network and Service Management. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://pdfs.semanticscholar.org/1500/d5048d67b2095ff347439cc03a47c617babf.pdf>.
3. Fernández-Fernández A. Energy Efficiency and Network Performance: A Reality Check in SDN-Based 5G Systems [Електронний ресурс] / A. Fernández-Fernández, C. Cervelló-Pastor, L. Ochoa-Aday // XIII Jornadas de Ingeniería Telemática (JITEL 2017). – 2017. – Режим доступу до ресурсу: www.mdpi.com/1996-1073/10/12/2132/pdf.
4. Design and implementation of SDN/IP hybrid space information network prototype [Електронний ресурс] / H.Lei, Z. Xiaoning, C. Zijing, J. Yajie // IEEE. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7586705/>.
5. Yunkai W. Energy Aware Traffic Engineering in Hybrid SDN/IP Backbone Networks / W. Yunkai, X. Lei, L. Supeng. // JOURNAL OF COMMUNICATIONS AND NETWORKS, VOL X. – 2016.

ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ

Кулаков Юрій Олексійович – доктор технічних наук, кафедра обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

KulakovYurii – Doctor of Technical Sciences, Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute”.

E-mail: ya.kulakov@gmail.com

Шудренко Євгеній Олегович – студент, кафедра обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

ShudrenkoYevhenii – student, Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute”. E-mail: kuoreal@gmail.com

Баринін Юрій Ігорович – студент, кафедра обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Barynin Yurii – student, Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute”. E-mail:

**KulakovYurii,
ShudrenkoYevhenii,
BaryninYurii**

MODIFICATION OF ENERGY SAVING TRAFFIC MANAGEMENT ALGORITHM IN HYBRID MAINLINE SDN/IP NETWORKS

Relevance of research topic. Due to the rapid spreading of cloud-based technologies in the private and business sectors and, consequently, the high growth rates of network traffic, more and more networks require centralized, programmable management tools to effectively manage traffic. Taking into account also the sector of mobile devices that have become regularly used for access to cloud storage, there are problems of network complication and the need for more flexible regulation.

Formulation of the problem. Absence of determined, optimum solution to the problem of energy-saving traffic management in hybrid SDN/IP networks, numerous ways of available algorithms' improvement.

Analysis of recent research and publications. One of the proposed solutions is HEATHE, a heuristic algorithm, which provides an opportunity to calculate the traffic separation factor in polynomial time.

Selection of unexplored parts of the general problem. The original HEATHE is a heuristic algorithm, which gives an opportunity to consider ways to optimize it in different ways and directions.

Target setting. We propose a modification of this algorithm, which consists in minimizing the computational complexity of the algorithm in general, and the function of *searching neighbors in the region* in particular, by using an additional variable in the node routing tables, that are supporting the SDN.

The statement of basic materials. By excluding repetitive calculations of the shortest path tree from Neighboring Region Search Function, we significantly reduce amount of computations performed and thereby speed up the whole algorithm. Latter can be proven by software simulation, which has showed performance acceleration of the modified HEATHE algorithm by 20-30% depending on the network size.

Conclusion. As a result of the research, it can be argued that the application of the modified HEATHE algorithm using the variable for storing the total weight of the path in the routing table gives an advantage over the original algorithm in speed, requiring only a small amount of memory for data storage while decreasing its computational complexity. Although various tests and comparison have been taken to highlight the benefits of improved version, considering the heuristic nature of the HEATHE algorithm, one can also argue the expediency and effectiveness of the proposed modification of the original concept.