

## СПОСІБ ОРКЕСТРАЦІЇ ТРАФІКУ В ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖАХ З УРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### Вступ

Оркестрація трафіку представляє собою систему управління та оптимізації мережевих ресурсів [1]. Оркестрація трафіку включає в себе вирішення таких задач як динамічна маршрутизація, балансування навантаження та оптимізація трафіку з урахуванням заданих параметрів якості обслуговування (*QoS*). В роботі [2] представлено порівняльний аналіз різних досліджень по характеристикам методів балансування навантаження в програмно-конфігурованих мережах (*SDN*).

В *SDN* мережах оркестрація трафіку виконується на рівні контролеру *SDN*, що дозволяє централізовано приймати рішення, що враховують глобальний стан мережі. Це дозволяє використовувати більш складні стратегії балансування навантаження, які здатні оптимізувати потік трафіку по всій мережі, а не приймати ізолювані рішення на окремих комутаторах.

Однією із ключових переваг оркестрації на базі *SDN* є можливість швидкої адаптації до змін в топології мережі або до зміни типу трафіку. Наприклад, якщо з'єднання стає перенавантаженим або виходить з ладу, контролер *SDN* може негайно перенаправити трафік для того щоб обійти постраждалу ділянку, підтримуючи оптимальну продуктивність без зовнішнього втручання [3].

З метою скорочення часу оркестрації трафіку, як правило, між відправником та отримувачем формується множина неперетинних шляхів. Це дозволяє замінити

процедуру формування нового шляху на вибір раніше сформованого шляху.

Основним недоліком відомих методів оркестрації трафіку є те, що множинні великі потоки даних, що називають потоками слонів, можуть бути направлені на один і той же шлях, що призводить до дисбалансу навантаження та зниженню рівня *QoS* [4]. В зв'язку з цим під час оркестрації трафіку серед шляхів із заданими параметрами *QoS* необхідно обирати мінімально навантажені неперетинні шляхи.

В роботі [5] запропонований алгоритм багатошляхової маршрутизації, який дозволяє підвищити ефективність процедури оркестрації трафіку. Формування маршрутної інформації здійснюється з використанням модифікованого алгоритму маршрутизації на основі алгоритму вектора відстані. Відмінною особливістю даного алгоритму є те, що одночасно з формуванням заданого маршруту формуються оптимальні шляхи від всіх проміжних вузлів до кінцевого вузла. Централізоване формування маршрутної інформації також включає повторне формування маршрутної інформації для раніше сформованих ділянок шляху.

В роботі [6] на прикладі динамічного протоколу маршрутизації *OSPF* наведені переваги технології *SDN*. Результати показали кращу продуктивність та безпеку в цілому, а також покращення таких метрик *QoS* як джитер, затримка та втрата пакетів. При цьому в якості критерія вибору оптимального шляху виступає мінімальна довжина його каналів, що не завжди

забезпечує рівномірне навантаження мережі та якість обслуговування трафіку різного типу.

### Мета

Метою даної роботи є підвищення ефективності процедури оркестрації трафіку різного типу в SDN мережах за рахунок формування множини віртуальних непересічних каналів зв'язку, орієнтованих на конкретний тип трафіку. Це дозволяє підвищити ефективність процедури конструювання трафіку за рахунок попереднього виключення з огляду каналів зв'язку з недопустимим значеннями параметрів QoS.

## Основна частина

### Постановка задачі

В більшості алгоритмів маршрутизації при формуванні шляхів не враховуються параметри QoS каналів передачі трафіку різного типу, що призводить до зниження параметрів та якості оркестрації трафіку.

Якість передачі інформації залежить від таких властивостей мережі таких як:

1. Пропускна здатність ( $C$ );
2. Затримка передачі пакетів ( $D$ );
3. Джитер – нерівномірна затримка передачі пакетів даних в мережі ( $J$ );
4. Втрата пакетів ( $L$ ).

Для кожного типу трафіку значення цих параметрів різне. В таблиці 1 наведено граничні значення параметрів для основних типів трафіку.

Таблиця 1. Граничні значення QoS-метрик

| Тип трафіку      | Пропускна здатність ( $C_0$ ) | Затримка ( $D_0$ ) | Джитер ( $J_0$ ) | Втрата пакетів ( $L_0$ ) |
|------------------|-------------------------------|--------------------|------------------|--------------------------|
| Голосовий (VoIP) | ~100 Кбіт/с                   | <150 мс            | <30 мс           | <1%                      |
| Відеоконференції | >1 Мбіт/с                     | <150 мс            | <30 мс           | <1%                      |
| Відеострімінг    | >2 Мбіт/с                     | <300 мс            | <50 мс           | <1%                      |
| Онлайн-ігри      | ~500 Кбіт/с                   | <100 мс            | <30 мс           | <1%                      |
| Обмін файлами    | >1 Гбіт/с                     | -                  | -                | <5%                      |
| Хмарні сервіси   | >1 Мбіт/с                     | <200 мс            | -                | <2%                      |

Для врахування кожного з цих параметрів пропонується використовувати функцію одиничного скачка:

$$H(x) = \begin{cases} 1, & x \geq P \\ 0, & x < P \end{cases} \quad (1)$$

де,  $P$  – точка скачка.

Одиничне значення функції одиничного скачка вказує на те, що значення параметру перебуває в межах допустимого діапазону.

В загальному випадку за наявності кількох параметрів якості обслуговування як інтегральний критерій QoS використовується добуток

$$R = \prod_{i=1}^n H_i(x).$$

При  $R=1$  забезпечуються всі параметри QoS трафіку. При  $R=0$  окремі значення метрик QoS не забезпечуються каналами передачі даних.

1. Для голосового трафіку (VoIP) функції одиничного скачка мають наступний вигляд:

1.1. Функція для пропускної здатності:

$$H(C) = \begin{cases} 1, & C \geq 100 \text{ Кбіт/с} \\ 0, & C < 100 \text{ Кбіт/с} \end{cases} \quad (2)$$

1.2. Функція для затримки:

$$H(D) = \begin{cases} 1, & D < 150 \text{ мс} \\ 0, & D \geq 150 \text{ мс} \end{cases} \quad (3)$$

1.3. Функція для джитеру:

$$H(J) = \begin{cases} 1, & J < 30 \text{ мс} \\ 0, & J \geq 30 \text{ мс} \end{cases} \quad (4)$$

1.4. Функція для втрати пакетів:

$$H(L) = \begin{cases} 1, & L < 1\% \\ 0, & L \geq 1\% \end{cases} \quad (5)$$

В даному випадку  $R=H(C) \times H(D) \times H(J) \times H(L)$ .

При  $R=1$  всі значення метрик знаходяться в межах допустимих значень.

2. Для трафіку відеоконференції функції одиничного скачка мають наступний вигляд:

2.1. Функція для пропускної здатності:

$$H(C) = \begin{cases} 1, & C \geq 1 \text{ Мбіт/с} \\ 0, & C < 1 \text{ Мбіт/с} \end{cases} \quad (6)$$

2.2. Функція для затримки:

$$H(D) = \begin{cases} 1, & D < 150 \text{ мс} \\ 0, & D \geq 150 \text{ мс} \end{cases} \quad (7)$$

2.3. Функція для джитеру:

$$H(J) = \begin{cases} 1, & J < 30 \text{ мс} \\ 0, & J \geq 30 \text{ мс} \end{cases} \quad (8)$$

2.4. Функція для втрати пакетів:

$$H(L) = \begin{cases} 1, & L < 1\% \\ 0, & L \geq 1\% \end{cases} \quad (9)$$

В даному випадку  $R=H(C) \times H(D) \times H(J) \times H(L)$ .

При  $R=1$  всі значення метрик знаходяться в межах допустимих значень.

3. Для трафіку відеострімінгу функції одиничного скачка мають наступний вигляд:

3.1. Функція для пропускної здатності:

$$H(C) = \begin{cases} 1, & C \geq 2 \text{ Мбіт/с} \\ 0, & C < 2 \text{ Мбіт/с} \end{cases} \quad (10)$$

3.2. Функція для затримки:

$$H(D) = \begin{cases} 1, & D < 300 \text{ мс} \\ 0, & D \geq 300 \text{ мс} \end{cases} \quad (11)$$

3.3. Функція для джитеру:

$$H(J) = \begin{cases} 1, & J < 50 \text{ мс} \\ 0, & J \geq 50 \text{ мс} \end{cases} \quad (12)$$

3.4. Функція для втрати пакетів:

$$H(L) = \begin{cases} 1, & L < 1\% \\ 0, & L \geq 1\% \end{cases} \quad (13)$$

В даному випадку  $R=H(C) \times H(D) \times H(J) \times H(L)$ .

При  $R=1$  всі значення метрик знаходяться в межах допустимих значень.

4. Для трафіку онлайн-ігри функції одиничного скачка мають наступний вигляд:

4.1. Функція для пропускної здатності:

$$H(C) = \begin{cases} 1, & C \geq 500 \text{ Кбіт/с} \\ 0, & C < 500 \text{ Кбіт/с} \end{cases} \quad (13)$$

4.2. Функція для затримки:

$$H(D) = \begin{cases} 1, & D < 100 \text{ мс} \\ 0, & D \geq 100 \text{ мс} \end{cases} \quad (14)$$

4.3. Функція для джитеру:

$$H(J) = \begin{cases} 1, & J < 30 \text{ мс} \\ 0, & J \geq 30 \text{ мс} \end{cases} \quad (15)$$

4.4. Функція для втрати пакетів:

$$H(L) = \begin{cases} 1, & L < 1\% \\ 0, & L \geq 1\% \end{cases} \quad (16)$$

В даному випадку  $R=H(C) \times H(D) \times H(J) \times H(L)$ .

При  $R=1$  всі значення метрик знаходяться в межах допустимих значень.

5. Для трафіку обміну файлами функції одиничного скачка мають наступний вигляд:

5.1. Функція для пропускної здатності:

$$H(C) = \begin{cases} 1, & C \geq 1 \text{ Гбіт/с} \\ 0, & C < 1 \text{ Гбіт/с} \end{cases} \quad (17)$$

5.2. Функція для втрати пакетів:

$$H(L) = \begin{cases} 1, & L < 5\% \\ 0, & L \geq 5\% \end{cases} \quad (18)$$

В даному випадку  $R=H(C) \times H(L)$ .

При  $R=1$  всі значення метрик знаходяться в межах допустимих значень.

6. Для трафіку хмарного сервісу функції одиничного скачка мають наступний вигляд:

6.1. Функція для пропускної здатності:

$$H(C) = \begin{cases} 1, & C \geq 1 \text{ Мбіт/с} \\ 0, & C < 1 \text{ Мбіт/с} \end{cases} \quad (19)$$

6.2. Функція для затримки:

$$H(D) = \begin{cases} 1, & D < 200 \text{ мс} \\ 0, & D \geq 200 \text{ мс} \end{cases} \quad (20)$$

6.3. Функція для втрати пакетів:

$$H(L) = \begin{cases} 1, & L < 2\% \\ 0, & L \geq 2\% \end{cases} \quad (21)$$

В даному випадку  $R=H(C) \times H(D) \times H(L)$ .

При  $R=1$  всі значення метрик знаходяться в межах допустимих значень.

Аналогічним способом визначається інтегральний критерій  $QoS$  для інших типів трафіку.

Формування множини шляхів здійснюється централізовано в *SDN* контролері. Відмінною особливістю запропонованого способу є те, що формування шляхів здійснюється в віртуальній комп'ютерній мережі, кожен канал якої відповідає заданим параметрам якості обслуговування конкретного типу трафіку.

На рис.1 представлено блок-схему алгоритму оркестрації трафіку з урахуванням заданих параметрів якості обслуговування конкретного типу трафіка.

На початковому етапі процедури оркестрації трафіку, за відсутності допустимої множини маршрутів у *SDN* контролері здійснюється формування матриці шляхів віртуальної комп'ютерної мережі, канали якої задовольняють граничним значенням  $QoS$  метрик для заданого типу трафіку.

Етапи формування множини непересічних шляхів, орієнтованих на конкретний тип трафіку:

1. Формується матриця каналів  $A_{n \times n} = (a_{ij})$  початкової фізичної мережі.

2. Для кожного каналу зв'язку  $a_{ij} \in A_{n \times n}$  обчислюється  $r_{ij}$  – інтегральний критерій  $QoS$  заданого типу трафіку. При відповідності параметрів каналу критеріям  $QoS$  трафіку  $r_{ij}=1$ , при невідповідності  $r_{ij}=0$ .

3. Формуються канали  $b_{ij} = a_{ij} \times r_{ij}$  орієнтовані на передачу конкретного типу трафіку.

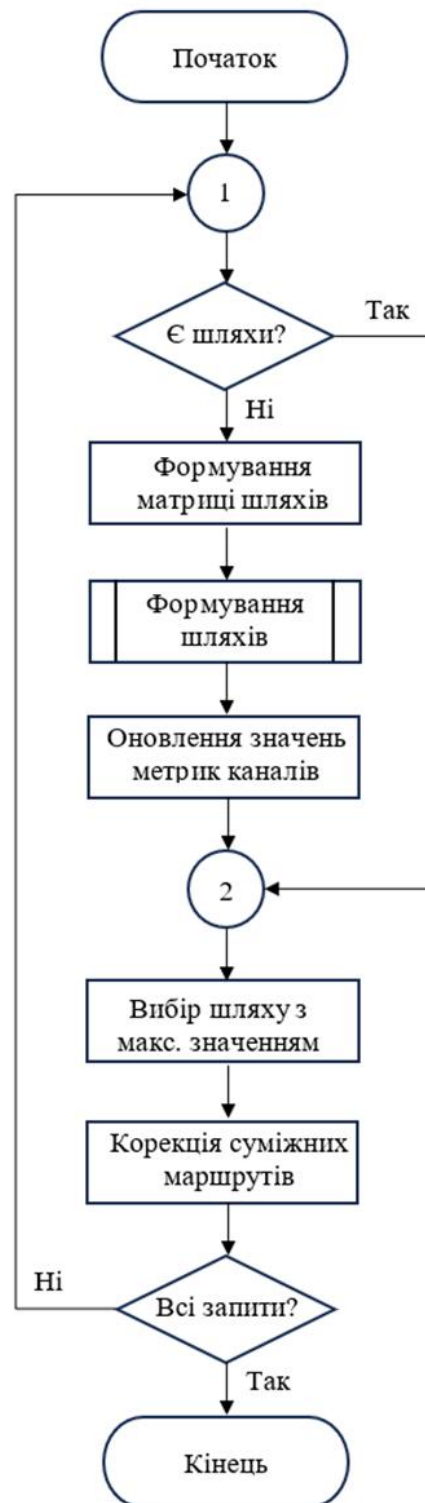


Рис 1. Блок схема алгоритму оркестрації трафіку

4. Формується матриця каналів  $B_{n \times n} = (b_{ij})$  віртуальної комп'ютерної мережі для формування шляхів з заданими параметрами  $QoS$ .

5. За допомогою модифікованого хвильового алгоритму формується

множина шляхів, орієнтованих на конкретних тип трафіку.

6. З метою рівномірного навантаження мережі поміж множини доступних шляхів обирається шлях з мінімальним середнім навантаженням та мінімальним середнім квадратичним відхиленням [7]:

$$D_i = \frac{n}{N} \left( d_i^0 + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (d_j - d_i^0)^2 \right), \quad (22)$$

де:  $n$  – кількість каналів шляху  $P_i$  між початковою вершиною  $v_s$  та кінцевою вершиною  $v_d$ ;  $N$  – кількість каналів максимального шляху  $P_m$  між вершинами  $v_s$  і  $v_d$ ;  $d_i^0$  – середнє значення завантаження каналів шляху  $P_i$ ;  $d_j$  – завантаження каналу  $L_j \in P_i$ .

$$d_i^0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j. \quad (23)$$

7. Після вибору оптимального шляху здійснюється корекція суміжних маршрутів.

8. Перевіряється наявність запитів на оркестрацію трафіку. За наявності запитів запускається процедура оркестрації трафіку з початку.

Централізоване керування віртуальними SDN мережами в сукупності з багатошляховою маршрутизацією дозволяє реалізувати динамічну ремаршрутизацію шляхів при зміні параметрів каналів передачі даних. В даному випадку з множини раніше сформованих шляхів обирається шлях з мінімальним значенням  $D_i$ . Паралельно з цим здійснюється корекція шляхів.

Наявність множини частково пересічних шляхів дозволяє замінити процедуру ремаршрутизації на процедуру реконфігурації шляху під час процесу передачі інформації.

### Висновки

В роботі запропонований модифікований спосіб оркестрації трафіку, який за рахунок врахування особливостей організації SDN мереж, зокрема за рахунок наявності в мережі центрального контролеру, дозволяє скоротити час формування множини частково пересічних шляхів та спростити процедуру балансування трафіку.

Запропоновано критерій вибору шляху з множини доступних шляхів, що дозволяє забезпечити більш рівномірне навантаження каналів передачі інформації при заданих параметрах QoS.

Подальше вдосконалення методів оркестрації трафіку пов'язано з прогнозуванням характеру змін навантаження в каналах зв'язку на основі аналізу та врахування самоподібності мережевого трафіку.

### Література

1. Rotsos C. et al. Network service orchestration standardization: a technology survey. *Computer Standards & Interfaces*. 2017. Vol. 54, iss. 4. P. 203–215.
2. Mohammad R. B. et al. A Systematic Review of Load Balancing Techniques in Software-Defined Networking. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 98612–98636.
3. Akin E., Korkmaz T. Comparison of Routing Algorithms with Static and Dynamic Link Cost in SDN. *2019 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)* : proceedings, Las Vegas, NV, USA, 11–14 January 2019 / IEEE. 2019. P. 1–8.
4. Shu Z. et al. Traffic engineering in software-defined networking: measurement and management. *IEEE Access*. 2016. Vol. 4. P. 3246–3256.
5. Kulakov Y., Kohan A., Kopychko S. Traffic Orchestration in Data Center Network based on Software-Defined Networking Technology. *Advances in Computer Science for Engineering and Education II*. Vol. 938. P. 228–237.
6. Rego A. et al. OSPF routing protocol performance in Software Defined Networks. *2017 Fourth International Conference on Software Defined Systems (SDS)* : proceedings, Valencia, Spain, 08–11 May 2017 / IEEE. 2017. P. 131–136.
7. Кулаков Ю. О., Щур В. Ю. Спосіб балансування трафіку в SDN мережах на основі модифікованого протоколу маршрутизації за вектором дистанції. *Проблеми інформатизації та управління*. 2023. Вип. 2(74). С. 62–67.

Кулаков Ю.О., Марьян С.С.

## СПОСІБ ОРКЕСТРАЦІЇ ТРАФІКУ В ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖАХ З УРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

*Ця робота присвячена способу балансування навантаження трафіку в комп'ютерних мережах з використанням технології SDN. Запропоновано критерій вибору шляху з множини доступних шляхів, що дозволяє забезпечити більш рівномірне навантаження каналів передачі інформації при заданих параметрах QoS.*

*Запропоновано модифікований спосіб оркестрації трафіку який дозволяє скоротити час формування множини частково пересічних шляхів та спростити процедуру балансування трафіку. Наявність множини частково пересічних шляхів дозволяє замінити процедуру ретаршрутизації на процедуру реконфігурації шляху під час процесу передачі інформації.*

**Ключові слова:** програмно-конфігуровані мережі; балансування трафіку; динамічна маршрутизація; оркестрація трафіку.

Kulakov Y.O., Marian S.S.

## METHOD OF TRAFFIC ORCHESTRATION IN SOFTWARE DEFINED NETWORKS CONSIDERING QUALITY OF SERVICE PARAMETERS

*This study is dedicated to the method of traffic load balancing in computer networks using SDN technology. The path selection criterion is proposed that enables more balanced loading of data transmission channels while ensuring compliance with specified QoS parameters.*

*The modified method of traffic orchestration is proposed to reduce the time required to form a set of partially overlapping paths and to simplify the traffic balancing procedure. The availability of this path set enables the replacement of the rerouting process with a path reconfiguration procedure during data transmission.*

**Keywords:** software-defined networks; traffic balancing; dynamic routing; traffic orchestration.