

СПОСІБ БАЛАНСУВАННЯ ТРАФІКУ В SDN МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО ПРОТОКОЛУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ЗА ВЕКТОРОМ ДИСТАНЦІЇ

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

ya.kulakov@gmail.com

Вступ

Сучасні комп'ютерні мережі вирізняються великою розмірністю і різноманітним складом устаткування, у тому числі мобільними засобами зв'язку. У зв'язку з цим ускладнюється процес керування сучасними комп'ютерними мережами, зокрема, балансування завантаження каналів передачі даних. Балансування завантаження здійснюється за допомогою оркестровки трафіку. У загальному випадку оркестровка трафіку - це система управління та оптимізація мережевих сервісів у динамічному режимі [1]. Оркестрування трафіку включає в себе процес конструювання й керування мережевим трафіком із метою забезпечення рівномірного завантаження каналів передавання даних із заданими параметрами якості обслуговування (QoS). Оркестрування трафіку здійснюється за допомогою сервіс-оркестратора, який являє собою систему управління для надання, управління та повторної оптимізації мережевих послуг [2].

По суті, сервіс-оркестратор отримує запити на мережеві сервіси від окремих додатків, споживачів послуг і оператора. Ґрунтуючись на отриманих запитах на обслуговування, доступних ресурсах інфраструктури і топологічних властивостях базової мережі, сервіс-оркестратор відповідає за визначення і виконання плану розгортання та управління мережею.

Для розв'язання цих проблем нині використовується технологія програмно-конфігурованих мереж (SDN) [3,4]. У SDN управління мережею, зокрема маршрутизацією, здійснюється централізовано в окремому пристрої, який називають контролером. Контролер є найбільш важливою та основною частиною в архітектурі SDN [5-7].

Відмінною особливістю SDN є те, що організація та управління мережею здійснюється на програмному рівні за допомогою віртуальних комутаторів і центрального контролера SDN [8,9] (рис. 1).

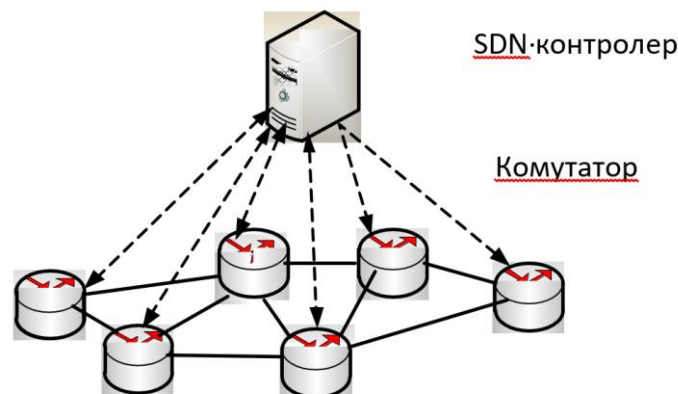


Рис. 1. Структура SDN мережі

У роботі [10] наведено дослідження різних методів балансування навантаження в мережі SDN. Порівняно з традиційною мережею основною перевагою балансування навантаження в SDN є те, що балансування здійснюється централізовано в контролері SDN. Контролер SDN оновлює маршрутну інформацію для мережевих комутаторів шляхом оновлення їхніх таблиць маршрутизації з метою вибору оптимального маршруту з погляду мінімізації споживання енергії та завантаженості каналів. Порівняно з розподіленими методами конструювання трафіку і його балансування централізований метод виключає необхідність обміну службовою інформацією між мережевими комутаторами.

Нині під час оркестровки трафіку в SDN широко використовують багатошляхову маршрутизацію [11]. Наявність декількох шляхів дає змогу замінити процедуру ремаршрутизації на реконфігурацію шляху. Використання багатошляхової маршрутизації в мережах SDN дає змогу підвищити надійність і пропускну здатність мережі. Трафік за багатоколійними маршрутами контролюється за допомогою метрики, яка залежить від таких параметрів, як пропускну спроможність каналів на шляху, стан перенавантаження, пікові та непікові навантаження. Це забезпечує більш рівномірне навантаження на канали передавання даних, і дає змогу скоротити час реконфігурації шляхів.

У роботі [12] запропоновано алгоритм багатоколійної маршрутизації, що дає змогу підвищити продуктивність мережі на 10-15% за рахунок зменшення обсягу службових пакетів. Це дає змогу знизити споживання енергії приблизно на 41% і підвищити максимальне використання каналів зв'язку на 60% порівняно з розподіленими способами конструювання трафіку та його балансування. Крім того, пінг-затримка в мережі зменшується на 5-10%, а кількість керуючих пакетів у мережі зменшується на 60-70% [13].

В свою чергу, використання багатошляхової маршрутизації дозволяє швидко

здійснювати ремаршрутизацію після збоїв каналів і мережевих комутаторів [14].

У роботі [15] запропоновано спосіб централізованого формування маршрутної інформації, що дозволяє виключити повторне формування маршрутів між проміжними ділянками шляху.

У роботі [16] запропоновано спосіб балансування трафіку, який за рахунок централізованого способу формування маршрутної інформації в контролері SDN і використання багатоколійної маршрутизації дає змогу спростити процедуру реконфігурації трафіку та забезпечити максимально рівномірне завантаження мережі. Формування маршрутної інформації здійснюється за допомогою хвильового алгоритму маршрутизації [17]. При цьому одночасно формуються шляхи від усіх проміжних вузлів до кінцевого вузла.

Основним недоліком відомих методів управління трафіком є те, що багато великих потоків, які називаються потоками слонів, перенаправляються на один і той самий шлях, що призводить до дисбалансу навантаження і втрат смуги пропускання [18]. У зв'язку з цим при конструюванні трафіку і його балансування необхідно враховувати величину і характер завантаження каналів. Завантаження мережі залежить від довжини шляхів, якими здійснюється передача інформації. Наявність спільних каналів між різними шляхами веде до пере-навантажень каналів і зниження ефективності функціонування комп'ютерних мереж. У зв'язку з цим під час балансування трафіку необхідно формувати безліч мінімально завантажених шляхів, що не перетинаються.

Основна частина

У роботі процедура балансування навантаження полягає у виборі серед безлічі доступних шляхів мінімально завантаженого шляху з відносно рівномірним завантаженням каналів цього шляху. З метою рівномірного завантаження необхідно вибрати шляхи з мінімальною середньою завантаженістю і мінімальним середнім квадратичним відхиленням навантаження шляхів від середнього значення. Для цього

в цій роботі пропонується використовувати критерій завантаження каналів колії:

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

де: n – кількість ланок колії P_i між початковою вершиною v_s та кінцевою вершиною v_d ; N – кількість ланок 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 $L_j \in P_i$.

$$d_i^0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j \quad (2)$$

Відношення n/N дає змогу враховувати відносну довжину шляху P_i .

Величина d_i^0 – визначає менш навантажений шлях.

Середнє квадратичне відхилення завантаження каналів шляху $((d_j - d_i^0)^2)$ характеризує ступінь рівномірності завантаження каналів колії.

Таким чином, коефіцієнт D_i дає змогу здійснити вибір найоптимальнішого шляху з погляду балансування завантаження каналів передавання даних.

Балансування завантаження каналів полягає у виборі шляху передавання даних, що оптимізує завантаження каналів мережі. У процесі балансування відбувається обмін службовою інформацією між контролером SDN і мережевими комутаторами (рис. 2).

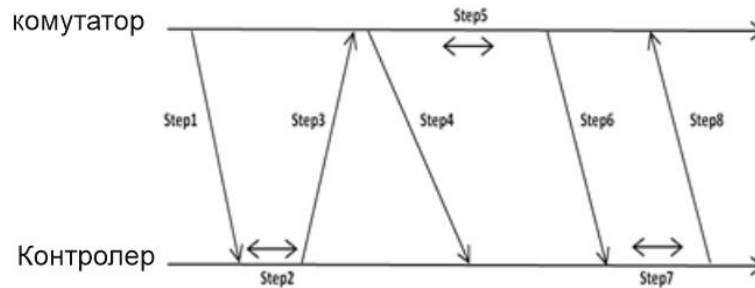


Рис. 2. Процес обміну службовою інформацією між контролером і комутатором, де: Step1 - Запит маршруту, Step2 - Формування маршруту, Step3 - Передавання маршруту, Step4 - Номер маршруту, Step5 - Передача інформації, Step6 - Кінець передавання, Step7 - Внесення коригування в маршрут, Step8 - Оновлення маршруту.

У момент часу Step1 комутатор передає запит маршрутизації із зазначенням своєї адреси та адреси одержувача. Під час Step2 контролер за таблицею мінімальних шляхів визначає наявність допустимих шляхів між відправником і одержувачем інформації. За відсутності допустимих шляхів контролер SDN формує безліч допустимих шляхів, що не перетинаються, за допомогою модифікованого протоколу маршрутизації за вектором дистанції. У момент Step3 відбувається передача маршруту контролером SDN вершині відправнику інформації. Серед доступних шляхів вибирають шлях із мінімальним завантаженням каналів і повідомляють його номер контролеру SDN. Грунтуючись на номер обраного маршруту, контролер SDN здійснює коригування маршрутів, суміжних з обраним маршрутом. Після чого відбувається передача інформації до обраної

вершини. Після завершення передачі інформації здійснюється оновлення використаних маршрутів.

За модифікованого алгоритму маршрутизації формування маршрутної інформації здійснюється у зворотному напрямку від пункту призначення (вершина v_d) до початку шляху (вершина v_s). Формування маршрутної інформації у зворотному порядку дає змогу одночасно формувати безліч шляхів, що не перетинаються. При цьому одночасно формуються шляхи між кінцевим і всіма проміжними комутаторами, що виключає за необхідності повторне формування шляхів від проміжних комутаторів до кінцевого вузла.

Алгоритм. Формування маршрутної інформації в мережевих комутаторах

Умовні позначення:

v_d : кінцева вершина шляху;

v_s : початкова вершина шляху;

$V_{i+1} = \{v_j\}$: множина вершин, суміжна з множиною вершин $V_i = \{v_j\}$;

$R_j(v_d, v_i)$: вектор шляху з вершини v_j у вершину v_d у напрямку вершини v_i ;

$P_j(v_d, v_i)$: шлях із вершини v_j у вершину v_d ;

$l_{i,j}$: ланка шляху між вершинами v_i і v_j ;

M_i : метрика шляху P_j ;

$m_{i,j}$: метрика ланки шляху;

D_i : критерій рівномірного завантаження шляху P_j ;

TS_j : таблиця маршрутів комутатора S_j .

1. **begin**
2. $i=1$;
3. $V_i = \{v_d\}$;
4. $V_{i+1} = \{v_j \mid i=1, \dots, k\}$;
5. Для всіх $v_j \in V_{i+1}$ визначити $R_j(v_d, v_i)$;
6. $R_j(v_d, v_i) \rightarrow TS_j$ /* занести $R_j(v_d, v_i)$ у TS_j */;
7. $P_j(v_d, v_i) = P_i(v_d, v_m) + l_{i,j}$;
8. Обчислити M_i ;
9. $M_i \rightarrow TS_j$ /* занести M_i у TS_j */;
10. Обчислити D_i ;
11. $D_i \rightarrow TS_j$ /* занести D_i у TS_j */;
12. **if** $v_s \in V_{i+1}$ **then go to** 15;
13. $V_i := V_{i+1}$;
14. **go to** 4
15. **End**

Формування шляхів здійснюється послідовно між суміжними множинами вершин V_{i+1} і V_i . Під суміжною множиною вершин розуміються множини вершин $V_i = \{v_i \mid i=1, 2, \dots, n\}$ і $V_{i+1} = \{v_j \mid j=1, 2, \dots, n\}$ зі спільною множиною ребер $E_c = \{e, \text{ де } v_j \in V_{i+1} \text{ і } v_k \in V_i\}$. Формування шляхів починається з кінцевої вершини шляху v_d , при $i=1$. У цьому випадку множина $V_1 = \{v_d\}$, а множина $V_2 = \{v_j\}$ являє собою множину вершин, суміжних із вершиною v_d . Потім для кожного комутатора S_j , що відповідає вершині $v_j \in V_2$, суміжній із вершиною v_d , у його таблицю маршрутів заноситься мінімальний маршрут у вершину v_d . На другому та наступних етапах маршрутизації триває формування маршрутів від вершин

$v_j \in V_{i+1}$ до вершин $v_k \in V_i$. У результаті формуються таблиці маршрутів комутаторів S_j для вершин $v_j \in V_{i+1}$. Процес триває доки не будуть сформовані всі шляхи, що не перетинаються між вершинами v_s і v_d .

Серед доступних шляхів обирається шлях з мінімальним завантаженням каналів і його номер передається контролеру SDN. На основі обраного маршруту, контролер SDN здійснює коригування маршрутів, суміжних з обраним маршрутом. Після чого відбувається передача інформації до обраної вершини. Після завершення передачі інформації здійснюється оновлення використаних маршрутів.

За централізованого способу балансування навантаження і наявності в контролері SDN таблиці найкоротших маршрутів між усіма вершинами ремаршрутизація здійснюється в динамічному режимі без перерахунку всього шляху. Контролер SDN оперативно відстежує зміну завантаження каналів, перераховує коефіцієнт рівномірності завантаження каналів шляху і вносить зміни в таблиці вектора дистанцій комутаторів. На підставі оновлених значень векторів дистанцій здійснюється реконфігурація суміжних шляхів з метою більш рівномірного завантаження каналів мережі. Це дає змогу виключити процедуру перерахунку всього шляху, якщо якийсь канал виявився перевантаженим у процесі передавання інформації. Отже, відбувається економія на переходах, а отже, і на завантаженості каналів усієї мережі, що є більш ефективним.

Висновки

У роботі запропоновано метод балансування трафіку, який за рахунок врахування особливостей організації SDN, зокрема за рахунок наявності в мережі центрального контролера, дає змогу скоротити час формування безлічі маршрутів і спростити процедуру балансування трафіку.

Запропонований у роботі модифікований протокол маршрутизації за вектором дистанції належить до алгоритмів динамічної маршрутизації та дає змогу здійснювати реконфігурацію маршруту в процесі передавання інформації.

Запропоновано критерій вибору шляху з безлічі доступних шляхів, що дає змогу забезпечити більш рівномірне завантаження каналів передавання інформації за заданих параметрів QoS.

Подальше вдосконалення методів балансування трафіку пов'язане з прогнозуванням характеру зміни 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 and Interfaces*. 2017. V. 54, Iss. 4. P. 203–215.
2. Diego Lopez, Hosnieh Rafiee, Carlos J. Bernardos, Gabriel Lopez-Millan, Rafael Marin-Lopez. Standardization SDN&NFV. *Computer Standards & Interfaces*. 2017. V. 54, Part 4. P. 195–196.
3. Isong B., Kgogo T., Lugayizi F. Trust establishment in SDN: controller and applications. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*. 2017. V. 9, Iss. 7. P. 20–28.
4. Sahoo K.S., Mishra S.K., Sahoo S., Sahoo B. Software defined network: the next generation internet technology. *Int. J. Wirel. Microwave Technol. (IJWMT)*. 2017. V. 7, Iss. 2. P. 13–24.
5. Mahmood Z.A., Nasir A.A., Fatima W.H. Evaluating and Comparing the Performance of Using Multiple Controllers in Software Defined Networks. *Int. I.J. Mod. Educ. and Comp. Science, (IJMECS)*. 2019. V. 8. P. 27–34.
6. Ashutosh K.S., Naveen K., Shashank S. PSO and TLBO based Reliable Placement of Controllers in SDN. *Int. I. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*. 2019. V. 2. P. 36–42.
7. Gamess E., Tovar D., Cavadia A. Design and Implementation of a Benchmarking Tool for OpenFlow Controllers. *International Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS)*. 2018. V. 10, No. 11. P. 1–13.
8. Isong B., Kgogo T., Lugayizi F. Trust establishment in SDN: controller and applications. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*. 2017. V. 9, Iss. 7. P. 20–28.
9. Sahoo K.S., Mishra S.K., Sahoo S., Sahoo B. Software defined network: the next generation internet technology. *Int. J. Wirel. Microwave Technol. (IJWMT)*. 2017. V. 7, Iss. 2. P. 13–24.
10. Yasir A.M., Chasib H.A., Zainab Q.M. Analyzing Methods and Opportunities in Software-Defined (SDN) Networks for Data Traffic Optimizations. *Int. Inter. J. Rec. Inn. Trends Comp. Com. (IJRITCC)*. 2018. V.6, Iss. 1. P. 75 – 82.
11. Basit A., Qaisar S., Syed H., Ali M. SDN orchestration for next generation inter-networking: a multipath forwarding approach. *IEEE Access*. 2017. V. 5. P. 13077–13089.
12. Rajasekaran K., Balasubramanian K. Energy Conscious based Multipath Routing Algorithm in WSN. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*. 2016. V. 1. P. 27–34.
13. Kumar P., Dutta R., Dagdi R., Sooda K., Naik A. A programmable and Managed Software Defined Network. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*. 2017. V. 12, P. 11–17.
14. Moza M., Kumar S. Analyzing multiple routing configuration. *Int. J. Comput. Netw. Inf. Secur. (IJCNIS)*. 2016. V. 5. P. 48–54.
15. 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*. V.938. P. 228–237.
16. Kulakov Y., Kopychko S., Gromova V. Organization of Network Data Centres Based on Software-Defined Networking. *Advances in Computer Science for Engineering and Education*. V. 754. P. 447–455.
17. Kulakov Y., Kogan A. The method of plurality generation of disjoint paths using horizontal exclusive scheduling. *Adv. Sci. J.* 2014. V. 10. P.16–18.
18. Shu Z., Wan J., Lin J., Wang S., Li D., Rho S., Yang C. Traffic engineering in softwaredefined networking: measurement and management. *IEEE Access*. V. 4. P. 3246–3256.

Кулаков Ю.О., Щур В.Ю.

СПОСІБ БАЛАНСУВАННЯ ТРАФІКУ В SDN МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО ПРОТОКОЛУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ЗА ВЕКТОРОМ ДИСТАНЦІЇ

У роботі розглянуто питання балансування трафіку в комп'ютерних мережах з використанням технології Software-Defined Networking (SDN). Обґрунтовано доцільність балансування навантаження в мережах SDN на основі багатошляхової маршрутизації. Запропоновано критерій вибору шляху, що дає змогу забезпечити максимально можливе рівномірне завантаження каналів.

Запропоновано спосіб балансування трафіку, який за рахунок централізованого способу формування маршрутної інформації в контролері SDN і використання способу багатошляхової маршрутизації дає змогу підвищити ефективність процедури динамічної реконфігурації трафіку. Формування маршрутної інформації здійснюється за допомогою модифікованого алгоритму маршрутизації за вектором дистанції. Даний алгоритм дозволяє одночасно з формуванням заданого маршруту формувати шляхи від усіх проміжних вузлів до кінцевого вузла. Запропоновано спосіб централізованого формування маршрутної інформації, що дозволяє виключити повторне формування маршрутної інформації для раніше сформованих ділянок шляху.

Ключові слова: програмно-конфігуровані мережі, багатошляхова маршрутизація, алгоритм потокового передавання, балансування трафіку.

Kulakov Y.O., Shchur V.Y.

A METHOD OF TRAFFIC BALANCING IN SDN NETWORKS BASED ON A MODIFIED DISTANCE VECTOR ROUTING PROTOCOL

The paper considers the issues of traffic balancing in computer networks using Software-Defined Networking (SDN) technology. The expediency of load balancing in SDN networks on the basis of multipath routing is substantiated. The criterion of path selection is proposed, which allows to provide the maximum possible uniform loading of channels.

The method of traffic balancing is proposed, which due to the centralised way of route information formation in the SDN controller and the use of multipath routing method allows to increase the efficiency of dynamic traffic reconfiguration procedure. Formation of routing information is carried out using a modified distance vector routing algorithm. This algorithm allows simultaneously with the formation of a given route to form paths from all intermediate nodes to the final node. The method of centralised formation of routing information is proposed, which allows to exclude repeated formation of routing information for previously formed sections of the route.

Keywords: software-defined networking, multipath routing, streaming algorithm, traffic balancing.