

УДК 543.421:621.38

А.О. Воропаєва (канд. техн. наук, доц.), М.Б. Лурджан
Донецький національний технічний університет, м. Красноармійськ
кафедра автоматики та телекомунікацій
E-mail: voropaeva_anna@meta.ua; massi.lourdjane@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ ОПЕРАТОРІВ ЗВ'ЯЗКУ

Авторами розглянуто можливості використання програмно-конфігурованих мереж (SDN) у перспективах розвитку концепції ІоЕ для забезпечення інтелектуальної обробки та доставки послуг. Наведено модель віртуальної SDN-мережі з використанням оркестраторів, яку пропонується використовувати для нормування затримки відповідей контролеру на запити елементів мережі. Зазначено, що для автоматизації балансування трафіку можливе використання SDN-концепції на транспортних мережах операторів зв'язку. Розроблено алгоритм оптимального переходу мережі до програмно-конфігурованого вигляду та наведено основний математичний апарат, який використовується для балансування навантаження.
Ключові слова: SDN-мережа, затримка, балансування навантаження, контролер.

Загальна постановка проблеми. У сьогоднішньому світі у відповідь на нові потреби людей створюються все нові послуги, можливості та технології, які намагаються відповідати високим вимогам, що встановлюються споживачами. Найбільшої швидкості розвитку на сьогодні набувають мережі стільникового зв'язку. Впровадження нових сервісів і все більш активна передача разом з голосом даних і мультимедії інформації призводить до значного збільшення обсягів трафіку в мережах мобільного зв'язку. Виходячи зі звіту, наданого компанією Cisco ® [1], мобільний трафік у глобальному масштабі у 2013 році виріс на 81% і досягав вже 1,5 екзобайт на місяць у кінці 2013, на відміну від 820 Петабайт у місяць у кінці 2012 р. Більше півмільярда (526 млн) мобільних пристроїв і з'єднань були додані в 2013-му. Загальна їх кількість зросла до 7 млрд. на відміну від 6,5 млрд у 2012 р. З них 77% – смартфони (406 млн). Що стосується швидкостей підключення, то вони вирости у середньому більш ніж у 2 рази у 2013 р. Середня швидкість мобільна швидкість у 2013-му досягла 1,387 Кбіт/с, на відміну від 526 Кбіт/с. За оцінками експертів мобільний трафік даних до 2018 року зросте до 15,1 екзобайт/місяць [1]. Таке зростання вимагає від операторів використання нових підходів до побудови мереж, які повинні забезпечувати економічну передачу великих обсягів трафіку та підтримку нових послуг а також забезпечення виконання потреб користувачів, які зростають з кожним роком все більше.

Можливості концепції SDN. Орієнтуючись на перспективи розвитку концепції ІоЕ (Internet of Everything) головною задачею оператора зв'язку є забезпечення інтелектуальної обробки та доставки послуг, що здійснюється на основі даних – це означає, що підключення мають працювати постійно, а сервіси відповідати з практично нульовими затримками в часі, що призводить у свою чергу до надання сервісу поза часовими і просторовими обмеженнями. Для вирішення цієї задачі, а також для забезпечення еластичності, масштабованості та гнучкості мереж операторів зв'язку пропонується підхід SDN/NFV (Software Defined Network/Network Functions Virtualization) [2, 3].

Стандартне уявлення про мережу представляє її у вигляді двох площин – площини даних і площину контролю. Площина даних займається обробкою пакетів з призначенням локальним станом пересилання. У свою чергу, в процесі роботи мережі перед площиною

контролю стоїть безліч задач і цілей: роутінг – за який відповідають розподілені алгоритми маршрутизації; ізоляція трафіку: ACL, VLAN та фаєрволли; трафік інженерінг. Проблема в відсутності модульності, що призводить до того, що навіть за наявності добре продуманого протоколу маршрутизації, рішення про передачу пакетів в тому чи іншому напрямку приймається кожним роутером самостійно [4].

Концепція програмно-конфігурованих мереж забезпечує програму контролю, яка виходячи із завдань, що ставлять перед собою оператори висловлює вимоги до політики і правил передачі і може створювати механізми пересилки практично будь-якої складності. SDN також має рівень на якому відбувається віртуалізація мережі, де групи фізичних пристроїв представлені у вигляді одного або декількох віртуальних пристроїв, кожен з яких виражає ту чи іншу політику в мережі, що значно спрощує процеси масштабування мережі і взагалі застосування цих самих політик до груп пристроїв (див. рис.1). Мережева операційна система здійснює переклад цих вимог на мову зрозумілу для мережевих пристроїв.

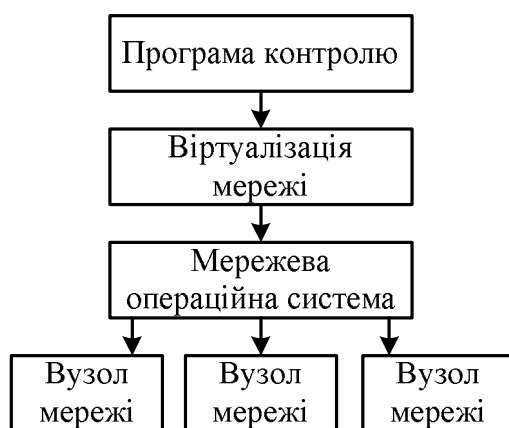


Рисунок 1 – Концепція програмно-конфігурованих мереж

Віртуалізація мережі. З точки зору оптимальності та надання біль широким можливостей площині контролю з використанням SDN, необхідно внести у існуючу модель доповнення, яке б дозволило мережі бути керованою контролерами різних виробників одночасно. Для цього між рівнем додатків і контролерами різних виробників (або контролерами використовуваними для контролю над різними ділянками мережі), необхідно додати оркестратор, який би синхронізував їх роботу (див. рис. 2). Оркестратори, які представлено на рис. 2, у модифікованій архітектурі SDN-мережі відіграють роль контролерів, котрі взаємодіють з комутаторами транспортної інфраструктури мережі за принципом «клієнт-сервер». Одним із основних факторів як у розташуванні контролеру, так і в виборі їх кількості є затримки відповідей контролеру на запити елементів мережі. Дуже важливо мати швидку динамічну реакцію на події [5]. Для вирішення цієї проблеми, знаючи розташування вузлів мережі та відстані між вузлами, пропонується методика для визначення місця розташування контролеру. Нехай у графі $G(V, E)$, де V – кількість вузлів, E – кількість з'єднань. Позначимо $d(r, s)$ – найкоротший шлях від вузла $r \in V$ до $s \in V$:

$$L_{cp}(R) = \frac{1}{V} \sum_{r \in V} \sum_{s \in V} \min d(r, s).$$

де $L_{cp}(R)$ – середня затримка при розташуванні контролеру у $r \in V$.

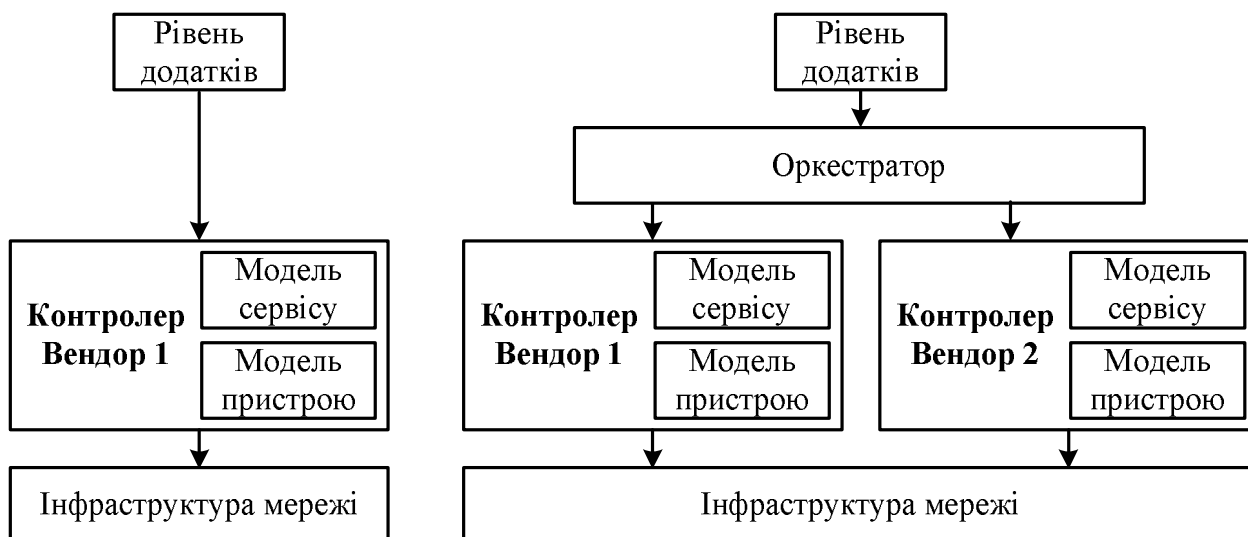


Рисунок 2 – Модифікована архітектура SDN з оркестратором

Порівнявши таким чином середні затримки для кожного можливого r , знаходимо оптимальне розташування контролеру. Якщо отримане оптимальне значення середньої затримки не задовільне, або через дуже велику кількість елементів мережі операційних можливостей сервера не вистачає, логічно було б використати декілька контролерів, розбивши перед цим мережу $G(V, E)$ на декілька $G_1(V_1, E_1), \dots, G_n(V_n, E_n)$ за принципом топологічної близькості вузлів, та застосувати до кожної підмножини запропоновану методику. Звичайно, у такому разі контролери мають бути пов'язані один з одним. Їх взаємодія має бути основана на тому, що кожен контролер має здійснювати зв'язок із сусідніми через спеціально виділений канал зв'язку. Це досягається шляхом встановлення додатку на контролер, для якого взаємодія контролер-контролер перетворюється на різновид контролер – комутатор.

Для підвищення ефективності роботи такого типу мережі пропонується робити резервування контролерів шляхом використання FlowVisor – спеціального OpenFlow контролеру, який виступає в якості прозорого проксі між OpenFlow комутаторами та декількома OpenFlow контролерами. Він створює зрізи мережевих ресурсів та делегує контроль над кожним зрізом різним контролерам. Даний підхід дозволить вирішити як проблему резервування контролерів, так і проблему простаю мережі.

Нехай $C = \{C_1 \dots C_n\}$ – мережа контролерів, $S = \{S_1 \dots S_m\}$ – сукупність OpenFlow комутаторів з якими необхідно підтримувати зв'язок і передавати інформацію від контролерів C . Нехай M – відповідності між комутаторами і контролерами. Сукупність M відповідає вимозі, що кожному комутатору встановлює політики тільки один контролер. Тобто якщо $S_1 \in S$ і $c_q \in C$, то виконання умов $(c_q, s_1) \in M$ можливе тільки якщо $p \in q$.

Нехай S_i – пул IP адрес комутаторів, а P_i , відповідно, контролерів. У кожний момент часу комутатор S_i зконфігурований статично підключатися до контролера з IP адресою P_i . Основний контролер вирішує як розподілити комутатори між контролерами розподіляючи пул IP адрес P_i між всіма контролерами, у тому числі і собою. Як тільки комутатор S_i визначить для контролера C_m – IP адреса P_i динамічно визначається до цього контролеру. Таким чином в будь-який момент часу, якщо $P_i \in \{C_k\}$, контролер C_k – визначений для комутатора S_1 . Якщо у зв'язку з якими-небудь змінами контролер поміняє відповідності, IP адреса P_i буде перенесений до іншого контролеру який починає переймати на себе обов'язки попереднього. Для уникнення одночасного зв'язку і контролю з багатьма контро-

лерами або навпаки, відсутності контролю над комутаторами, призначувані адреси повинні попарно не перетинатися і бути унікальними. Ще один варіант рішення цього завдання можливий за умови наявності елемента балансування навантаження, коли всі комутатори підключаються до так званого флоат IP, після чого балансувальник рівномірно розподіляє навантаження між серверами. Мінусом такого рішення може бути те, що залишається невідомим для кожного моменту часу який конкретно сервер контролюється процес комунікації з комутатором тому не рекомендується використовувати.

Впровадження SDN до транспортної мережі. Одним із ключових викликів в сценаріях маршрутизації є досягнення балансування навантаження. В даний час процедура балансування трафіку між маршрутизаторами для настройки переадресації маршрутів відбувається вручну. Так, якщо модель руху трафіку змінилася, конфігурація за маршрутами повинна бути змінена відповідно до нової моделі вручну. Для збільшення ефективності цього сегмента необхідне рішення для оптимізації балансування навантаження. Технологія SDN відіграє ключову роль у пропонованому рішенні, що дозволяє автоматизувати балансування трафіку навіть у многовендорних шлюзах. Передумовою для даного розрахунку маршруту є те, що кожен вузол має інформацію про топологію мережі. Для забезпечення узгодженості та запобігання петель маршрутизації, незалежно від того, який протокол використовується для розрахунку маршруту, будь то OSPF або IS-IS тощо, інформація про топологію на кожному вузлі повинна бути узгоджена по всій мережі і розрахунок маршруту, використовуваний кожним вузлом, повинен бути однаковим.

Для узгодження роботи контролерів в кластері пропонується використовувати систему JGroups [4, 6], яка обчислює шляхи для послуг залежно від фактичного обсягу трафіку. Якщо обсяг трафіку збільшується наприклад на ступінь, оригінальний шлях не може задовольнити новим вимогам, у такому випадку нова логіка автоматично перемикає трафік на новий шлях. Після того як обсяг трафіку зменшується, ресурси своєчасно вивільнюються. Крім того, розрахунок шляху більше не обмежується принципом найкоротшого шляху. Крім надання централізованих глобальних можливостей розрахунку, пропонована система використовує стандартні інтерфейси для зв'язку з передавальними пристроями. Дана логіка може бути використана для управління трафіком на кордоні мережі, або всередині самої IP мережі. Метою такого управління може бути балансування трафіку, вказівка явних шляхів для конкретних потоків, використання шляху до заповнення його до певного порогу, настройка QoS на основі трафіку (в основному затримки і коефіцієнти втрати пакетів), аналіз результатів, диференціювання розрахунку шляху для послуг різних користувачів.

Загальний принцип полягає в тому, що контролер може обчислювати шляхи ґрунтуючись на реальному трафіку в даний момент часу, а не на планованому обсязі трафіку, тому він повністю використовує можливості статистичного мультиплексування в IP мережі[7]. Така система підвищує ефективність роботи мережі, спільного використання ресурсів серед потоків з різними характеристиками трафіку. Динамічний і періодичний збір інформації та налаштування мережі дозволить такій системі добре справлятися зі змінами шляхів трафіку, особливо змін, викликаних надзвичайними ситуаціями, такими як короткочасні мережеві несправності. Така система використовує механізми розрахунку глобального шляху, щоб забезпечити єдиний розподіл ресурсів, глобальну оптимізацію, і єдиний контроль. Цей механізм дозволяє уникнути взаємодії між численними вузлами мережі, необхідне для розподіленого управління, і спрощує технічне обслуговування мережі. Можна виділити наступні основні складові логічної частини такої транспортної мережі (перші три компоненти, як правило, розміщені на різних серверах, або на різних віртуальних машинах (VM) на одному фізичному сервері): аналізатор трафіку, пристрій керування політикою, SDN-контролер, OpenFlow комутатори (див. рис. 3) [8 – 10].

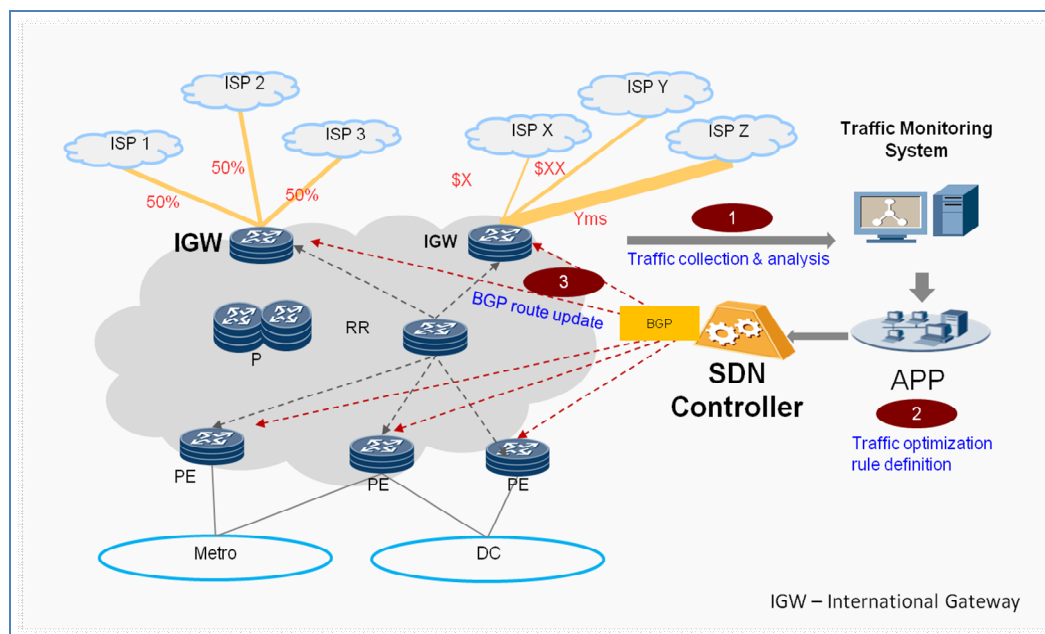


Рисунок 3 – SDN на межі транспортній мережі

Беручи до уваги той факт, що транспортні мережі більшості операторів мобільного зв'язку сьогодні реалізовані за допомогою технології MPLS та розуміючи практичну складність різкого переходу на нові рішення, пропонується наступний алгоритм переходу мережі оператора до SDN, який складається з трьох етапів.

1. Заміна граничних маршрутизаторів.

Маючи встановлений SDN - контролер, перш за все необхідно провести послідовну заміну граничних маршрутизаторів. Одночасно їх замінити не можна тому, що вони задіяні в роботі мережі та передачі трафіку – це призведе до зупинки роботи усієї мережі. Таким чином, можливо від'єднати один з маршрутизаторів, замінити його на OpenFlow комутатор, підключений до контролеру, де вже є вбудований механізми функціонування MPLS. Є також можливість поставити OpenFlow комутатор у паралель до граничного маршрутизатора та перекинути з'єднання поступово. Для мережі все виглядає так, якби взагалі не сталося жодних змін, бо контролер просто візьме на себе ті ж самі функції контролю, які були до цього у маршрутизатора.

Маючи повністю замінені граничні комутатори на виході можна отримати майже SDN мережу, бо тепер контролер може визначати маршрут слідування трафіку та додавати мітки усіх потрібних LSP мережі. Але ця мережа не є повністю SDN мережею, бо вона не динамічно реагує на процеси, що в ній проходять, контролер отримує оперативну інформацію лише про ті з'єднання, які безпосередньо підключені до SDN комутатору.

2. Заміна ключових транзитних маршрутизаторів.

Щоб повністю перейти до SDN усі елементи мережі мають підтримувати OpenFlow та бути підключені до контролеру. Пропонується методика знаходження основних вузлів, заміна яких дасть найбільший ефект, з точки зору ефективності керування мережею. Ідея полягає у тому, щоб кожен шлях в мережі походив хоча б через один транзитний SDN - комутатор. Якщо на першому етапі граничний SDN комутатор будував шлях через усю мережу до іншого граничного комутатора, то тепер він буде будувати шлях лише до ключового SDN комутатора. Це дозволить логічно спростити будь – який шлях та мати можливість більш оперативно реагувати на зміни в мережі.

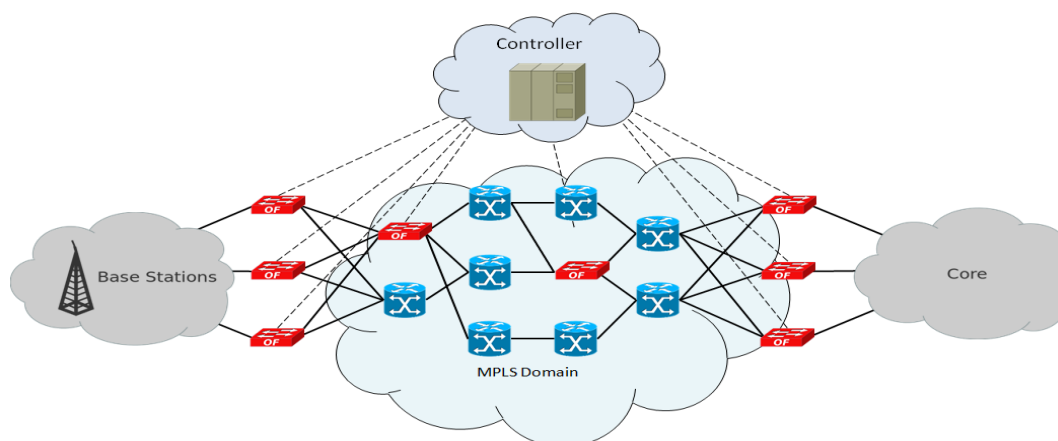


Рисунок 4 – Заміна ключових транзитних маршрутизаторів

Позначимо l_{ij} – бінарну змінну, яка приймає значення 1, якщо у мережі існує лінк між вузлами i та j , та x_{ij}^{st} – бінарну змінну, яка дорівнює 1, якщо з'єднання між i та j лежить на шляху $p_n(s, t)$, де s та t – граничні маршрутизатори. Змінна y_i приймає значення 1, якщо роутер i має бути замінений, $u_i^{st} = 1$, якщо шлях проходить через SDN-комутатор. V – множина, до складу якої входять маршрутизатори з хмари, R – кількість маршрутизаторів. Математична модель знаходження ключових вузлів складається з рівнянь:

$$x_{ij}^{st} \leq l_{ij}, \forall i, j \in V; \quad (1)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & l_{ij} > 0, \\ 0, & l_{ij} = 0; \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_i u_i^{st} = 1; \quad (3)$$

$$u_i^{st} \leq y_i, \forall i \in V; \quad (4)$$

$$c = \sum_j d, \dots d = \begin{cases} 1, & a_{0j} > 0, \\ 0, & a_{0j} = 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$m = \sum c; l = n; \quad (6)$$

$$k_{ml} = \begin{cases} 1, & x_{ij}^{st} = 1, \\ 0, & x_{ij}^{st} = 0; \end{cases} \quad (7)$$

$$\min_{x_{ij}^{st}, y_{ij}^{st}} \sum R. \quad (8)$$

Вираз (1) означає, що мають бути використані лише існуючі шляхи. Вираз (2) – заповнюється квадратна матриця $a[n \times n]$. Рівняння (3) ставить вимогу до того, що кожен шлях від одного Edge – s до іншого – t має включати хоча б один SDN-комутатор. Рівняння (4) вказує на те, що елемент мережі i було обрано для заміни. Вираз (5) підраховує кількість лінків d , які безпосередньо приєднані до маршрутизатора s . Таким чином, розраховується m – загальна кількість усіх можливих шляхів від s до t . Далі у (6) формується матриця k з кількістю рядків, що дорівнює кількості шляхів, та кількістю стовпців, рівною кількості елементів мережі. Формула (8) вказує на необхідність мінімізувати кількість маршрутизаторів, які потребують зміни, обов'язково зважаючи на умову (4).

3. Поступова заміна маршрутизаторів, що залишилися.

Поступово замінивши усі маршрутизатори на SDN – комутатори, отримується повноцінна SDN мережа. Але, поки ще не має повністю нової мережі, пропонується робити заміну старих елементів мережі, які мають найменш швидкісні порти.

Висновки.

1. Наведено загальне архітектурне рішення та пояснені принципи роботи концепції SDN, що включають зміну уявлення про площини контролю та пересилки даних у напрямку централізації управління, а саме площини контролю за допомогою спеціального контролера, а також використання простіших та дешевших OpenFlow комутаторів як засіб виконання команд, що передаються контролером для пересилки пакетів усередині мережі.

2. Розглянуто принцип віртуалізації мережі та наведено рекомендації щодо методики вибору місця розташування контролера в площині мережі, яка дозволяє отримувати унікальність IP-адрес та робить можливим балансування навантаження.

3. Розроблено еволюційний алгоритм впровадження концепції SDN до мережі оператора зв'язку, що дозволить програмне балансування навантаженням транспортної мережі.

Список використаної літератури

1. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013–2018: Cisco® February 5, 2014 [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html / Дата доступу 12.02.2016.
2. What is NFV – Network Functions Virtualization – Definition? [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://www.sdxcentral.com/nfv/resources/whats-network-functions-virtualization-nfv/> / Дата доступу 20.04.2016.
3. Технологии SDNи NFV: новые возможности для телекоммуникаций [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://arccn.ru/media/1132> / Дата доступу 20.04.2016.
4. Лурджан, М.Б. Исследование возможностей внедрения алгоритмов маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях (SDN) / М.Б. Лурджан, А.А. Воропаева, Г.В. Ступак // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Красноармійськ, ДонНТУ, 2015. Випуск 1 (28). – С. 81 – 89.
5. The Road to SDN: An Intellectual History of Programmable Networks: Nick Feamster, Jennifer Rexford, Ellen Zegura [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.sigcomm.org/node/3488> / Дата доступу 15.03.2016.
6. An SDN Controller for Delay and Jitter Reduction in Cloud Gaming: Maryam Amiri, Hussein Al Osman, Shervin Shirmohammadi [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2806397> / Дата доступу 12.04.2016.
7. N. McKeown OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks / N. McKeown // SIGCOMM Comput. Commun. Rev. vol. 38, pp. 69-74, March 2008.
8. OpenFlow Switch Specification: Open Networking Foundation June 25, 2012 [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://archive.openflow.org/documents/openflow-spec-v1.1.0.pdf> / Дата доступу 15.02.2016.
9. Analysis of CAPEX and OPEX Benefits of Wireless Access Virtualization: the 4th Workshop on E2Nets, Budapest, Hungary, June 9, 2013 / M.M. Rahman, Charles Despins. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://e2nets.org/docs/Rahman-Presentation.pdf> / Дата доступу 15.03.2016.
10. FlowVisor: A Network Virtualization Layer: Deutsche Telekom Inc. R&D Lab, y Stanford University, _ Nicira Networks October 14, 2009 / Rob Sherwood, Glen Gibb, Kok-Kiong Yap [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://sb.tmit.bme.hu/mediawiki/images/c/c0/FlowVisor.pdf> / Дата доступу 15.02.2015.

References

1. Cisco Visual Networking Index (2013). "Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013–2018: Cisco®", available at: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html (Accessed February 2, 2016).
2. What is NFV – Network Functions Virtualization – Definition? available at: <https://www.sdxcentral.com/nfv/resources/whats-network-functions-virtualization-nfv> (Accessed April 20, 2016).
3. Technologies SDN and NFV: new opportunities for telecommunications, available at: <http://arccn.ru/media/1132> (Accessed April 20, 2016).
4. Lourdjane, M and Voropaeva A (2015) "Introduction of New Routing Algorithms in Software Defined Networks (SDN)", *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universyety. Seriya: Obchysluvalna tekhnika ta avtomatyzatsiya*. – vol. 1, no. 28, pp. 81 – 89.
5. TheRoadtoSDN. "AnIntellectualHistoryofProgrammableNetworks: NickFeamster, Jennifer-Rexford, EllenZegura", available at: <http://www.sigcomm.org/node/3488> (Accessed March 15, 2016).
6. An SDN Controller for Delay and Jitter Reduction in Cloud Gaming: Maryam Amiri, Hussein Al Osman, Shervin Shirmohammadi, available at: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2806397> (Accessed April 12, 2016).
7. McKeown, N. (2008) "OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks", *SIGCOMM Comput* vol. 38, pp. 69-74.
8. OpenFlow Switch Specication (2012). "OpenNetworkingFoundation June 25, 2012", available at: <http://archive.openflow.org/documents/openflow-spec-v1.1.0.pdf> (Accessed February 15 2015).
9. Analysis of CAPEX and OPEX Benefits of Wireless Access Virtualization: the 4th Workshop on E2Nets, Budapest, Hungary, June 9, 2013 / M.M. Rahman, Charles Despins, available at: <http://e2nets.org/docs/Rahman-Presentation.pdf>
10. FlowVisor (2009). "A Network Virtualization Layer: Deutsche Telekom Inc. R&D Lab, y Stanford University, _ Nicira Networks October 14, 2009 / Rob Sherwood, Glen Gibb, Kok-Kiong Yap", available at: <https://sb.tmit.bme.hu/mediawiki/images/c/c0/FlowVisor.pdf> (Accessed February 15 2015).

Надійшла до редакції:
28.04.2016 г.

Рецензент:
д-р.техн. наук, проф. Подкопаяєв С.В.

А.А. Воропаева, М.Б. Лурджан

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Использование программно конфигурированных сетей для балансировки нагрузки в транспортных сетях операторов связи. Авторами рассмотрены возможности использования программно конфигурируемых сетей (SDN) в перспективах развития концепции IoE для обеспечения интеллектуальной обработки и доставки услуг. Приведена модель виртуальной SDN-сети с использованием оркестраторов, которую предлагается использовать для нормирования задержки ответов контроллеру на запросы элементов сети. Отмечено, что для автоматизации балансировки трафика возможно использование SDN-концепции на транспортных сетях операторов связи. Разработан алгоритм оптимального перехода сети к программно-конфигурируемому виду и основной математический аппарат, используемый для балансировки нагрузки.

Ключевые слова: SDN-сеть, задержка, балансировка нагрузки, контроллер.

A.O. Voropaeva, M.B. Lourdjane

Donetsk National Technical University

Software-configured network for traffic balancing in transport networks operators. The authors considered the possibility of using software-configurable network (SDN) to the prospects of the concept for IoE intellectual processing and delivery of services development. To ensure flexibility, scalability and flexibility of networks of communication we proposed approach SDN/NFV (Network Functions Virtualization). A general architectural decision and the principles of the SDN concept are explained, which include replacement of representations about control plane and data transfer in the direction of centralization of control. Namely the control plane is using special controller and simple and cheap OpenFlow switches to execute commands that are transmitted by the controller for network packets sending. We considered a model of virtual SDN-network using the orchestrator to normalize the delay of controller responses to the requests of the network elements. We presented the principle of network virtualization and recommendations on the methods to choose controller location in the plane of the network, which allows obtaining unique IP-addresses and enables load balancing. It is noted that for the automation of traffic balancing SDN-concept on transport networks of operators can be used. An evolutionary algorithm was designed for the implementation of the concept of SDN in the operator's communications network, which will allow the software load balancing of the transport network. Algorithm includes the technique of the basic units, which will replace the greatest effect in terms of the efficiency of network control.

Keywords: SDN-network, latency, load balancing controller.



Воропаєва Анна Олександрівна, Україна, закінчила Донецький національний технічний університет, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматики та телекомунікацій ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, 85300, Україна). Основний напрям наукових досліджень - методи оптимізації безпроводових телекомунікаційних мереж.



Лурджан Масініса Брахімович, магістр з телекомунікаційних систем та мереж Донецького національного технічного університету, кафедри автоматики та телекомунікацій ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, 85300, Україна). Основний напрям наукових досліджень – дослідження та модернізація існуючих варіацій створення SDN-мереж, протоколи маршрутизації, балансування навантаження.