

УДК 621.39 (045)

DOI: 10.18372/2310-5461.36.12225

**Р. С. Одарченко**

канд. техн. наук, доц.

Національний авіаційний університет

orcid.org/0000-0002-7130-1375

e-mail: odarchenko.r.s@ukr.net

**С. Ю. Даков**

Національний авіаційний університет

orcid.org/0000-0001-9413-3709

e-mail: dacov@ukr.net

## МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ SDN-МЕРЕЖІ ОПЕРАТОРСЬКОГО КЛАСУ

### Вступ

Сьогодні в Україні розпочали впроваджувати нові Інтернет-технології, ми бачимо що 3G вже працює, Інтернет-провайдерам анонсують більш сучасну та набагато ефективнішу технологію LTE та 4G. Ця технологія розвивається паралельно іншій оптичній мережі OTS (Open Transport Switch), яка є стаціонарною. Майже кожний мешканець та кожний користувач ПК, має вихід у глобальну Інтернет-мережу, будь то розважальний контент або, якась база даних, малого чи великого виробництва. Основна тенденція цих напрямків — «Інтернет у кожному будинку та кожному мобільному пристрою».

Конкуренція на ринку Інтернет-послуг досить велика, тому використовувати технології, які є застарілими, немає сенсу. Сучасні користувачі Інтернету, вимагають використання великих обсягів трафіку, будь то мультимедіа чи Інтернет-контент або соціальні мережі, якість роботи Інтернет-каналу потрібна бути вищою. Тому Інтернет-провайдерам необхідно використовувати більш сучасні, ефективніші, динамічні, централізовані технології SDN, для яких уже розробляють обладнання найвидатнішими брендами. Це HP, Huawei, Samsung, Cisco та програмне забезпечення Cisco, VMware, Huawei, Microsoft.

### Аналіз досліджень та публікацій

Концепція SDN, була сформульована в 2006 р., спеціалістами університетів Стенфорда і Берклі. У 2007 р. був реалізований перший комерційний проект [1]. Але програмно-керовані мережі (ПКМ) на той час вважали технологією майбутнього. На сьогодні програмно-керовані мережі здобули достатній розвиток, ця технологія показала себе не в минулому, а в теперішньому часі [3]. Технологію SDN, можливо розвивати на існуючій IP-мережі [4]. Оскільки провайдери характеризуються значними обсягами трафіку, то

використання ПКМ є більш ефективним, ніж використання традиційних технологій [5]. В англійській літературі, централізована система здобула величезну популярність [6]. Але на жаль, вітчизняні джерела досі відстають за обсягом інформації, що стосується цієї теми [7; 8].

### Постановка проблеми дослідження

Але незважаючи на це, впровадження більш сучасної та динамічної системи керування Інтернет-трафіком [5], залишається не останнім пріоритетом для Інтернет-провайдерів. Тому розробки ПКМ для постачальників Інтернет-послуг, є дуже важливими. Метою даної роботи є розробка методу проектування мережі SDN для будь-якого Інтернет-провайдера ISP. SDN-мережа має дати змогу постачальникам послуг, зробити перехід на більш сучасний, централізований метод керування мережами — стільниковий та стаціонарний. Розроблений метод дасть змогу переглянути обладнання та оцінити кошти, які необхідні для модернізації, чи побудови мережі.

### Актуальність застосування Overlay/SDN у мережах ISP

Internet Service Provider (ISP) — постачальник Інтернет-послуг) — організація, що надає послуги доступу до мережі Інтернет та інші пов'язані з Інтернетом послуги [8].

До основних послуг Інтернет-провайдерів належать:

- ширококутний доступ до Інтернету;
- комутований доступ до Інтернету;
- бездротовий доступ до Інтернету;
- виділення дискового простору для зберігання та забезпечення роботи сайтів (хостинг);
- підтримка електронних поштових скриньок або віртуального поштового сервера;
- розміщення устаткування клієнта на майданчику провайдера (колокація);

- оренда виділених і віртуальних серверів;
- резервування даних.

Як було визначено вище, SDN є ефективним рішенням для керування мережами з великими об'ємами трафіку та великою кількістю мережевого обладнання. Ці якості притаманні саме провайдерам ISP. Використання ПКМ дозволить користуватися провайдеру ISP такими основними перевагами: застосування політик QoS і контролю доступу.

SDN дозволяє розподілене застосування QoS і політик фаєрволу, заснованих на повному баченні мережі. Розподілення застосування цих правил особливо важливе для обробки того трафіку, що залишиться всередині стільникові мережі. Додатки, запущені на контролері, можуть поширювати правила контролю доступу над комутаторами і керувати плануванням трафіку, що проходить через вузли мережі, за допомогою класів QoS.

#### **Моніторинг мережевого управління і білінгу**

OpenFlow комутатори мають вбудовані лічильники байтів і пакетів. Open vSwitch можуть проводити моніторинг мережі, застосовуючи протоколи NetFlow, sFlow, SPAN тощо. Регулюючи правила обробки пакетів в SDN-комутаторах, провайдер ISP може ефективно здійснювати моніторинг трафіку на різних рівнях. Завдяки цьому, схеми контролю в SDN-контролері працюють у реальному часі. Крім того, асоціація типів трафіку з лічильниками трафіку є корисною для побудови білінгових рішень і дає можливість визначити коли користувач досягне ліміту трафіку за тарифом.

#### **Програмованість мережі**

SDN дозволить програмувати мережу як єдине ціле, а адміністраторам не доведеться займатися окремими пристроями. Реалізація концепції SDN на практиці дозволить операторам мобільного зв'язку отримати незалежний від виробників обладнання контроль над всією мережею з єдиного місця, що значно спростить її експлуатацію. Що не менш важливо, конфігурування мережі сильно спроститься і адміністраторам не доведеться вводити сотні рядків коду окремо для різного мережевого обладнання.

Характеристики мережі можна буде оперативно змінювати в режимі реального часу, відповідно, терміни впровадження нових додатків і сервісів значно скоротяться.

#### **Віртуалізація мобільних мереж**

SDN забезпечує порівняно просту віртуалізацію мережі. Віртуалізація мобільної мережі вимагає віртуалізації мережевого обладнання, по-

діляючи ресурси на фізичному, каналному чи мережевому рівнях. За допомогою SDN можна легко створити віртуальну мережу для проведення експериментів чи впровадження інновацій, і в разі їх провалу основна мережа провайдера залишиться неушкодженою.

У статті розроблено два способи використання SDN для провайдерів.

Перший — розроблений спеціально для провайдерів, що забезпечує широкосмуговий бездротовий доступ до Інтернету — тобто для мобільних операторів нового покоління 3G/4G. Метод полягає в віртуалізації фізичних ресурсів на єдиній апаратній платформі під керуванням SDN-контролера. Також використовується технологія SDR для об'єднання різних BBU в один модуль. Все це значно зменшує кількість обладнання, спрощує його обслуговування.

Другий метод розроблений для провайдерів, що мають оптичний транспортний сегмент OTN у власній мережі. Метод полягає в використанні віртуальних транспортних комутаторів OTS для створення транспортної SDN-мережі. Цей спосіб дозволяє прямий контроль над опорною транспортною мережею мобільного оператора, побудованої на оптичній мережі.

Метод побудови мережі провайдера бездротових Інтернет-послуг з застосуванням SDR та SDN.

Для більш ефективного використання SDN в мережах мобільного оператора розумним рішенням є її комбінування з SDR (Software-Defined Radio — програмно-конфігурована радіопідсистема) — близька до технології, розробленої спеціально для радіобладнання. Подібно до того як SDN виникла, щоб позбавитись від недоліків КМ, так і SDR виникла через недоліки у використанні частотного спектру, що було сформульовано ще у 1995 р. [9], але, на жаль, не втратили актуальності і сьогодні. Це:

- радіочастотний спектр використовується надзвичайно неефективно. Причина — обмеження, накладені ліцензуючими органами і недостатня функціональність радіопристроїв;
- переважна частина радіочастот не використовує більшу частину часу;
- вільні ділянки спектра можна і потрібно використовувати, проводячи в реальному масштабі часу відповідні вимірювання і визначаючи моменти і частоти, відповідні для передачі даних.
- SDR — це технологія для радіобладнання, яка дозволяє за допомогою програмного забезпечення встановлювати або змінювати робочі радіочастотні параметри, включаючи діапазон частот, тип модуляції або вихідну потужність [10].

SDR використовується як в передавальному, так і в приймальному обладнанні. SDR-приймач може стати єдиним модулем у смартфоні, що замінить одночасно GSM, Wi-Fi, Bluetooth та GPS-модуль, завдяки можливості оброблювати сигнали будь-яких частот широкого діапазону [11]. Для застосування в мобільних мережах звичайно цікавлять можливості цієї технології для передавачів — базових станцій.

У теорії можливо було б створити компактну базову станцію, яка могла б одночасно поширювати сигнали для GSM, UMTS та LTE, адже потужність обчислювальних систем достатня для обробки алгоритмів, закладених у мобільні мережі цих трьох стандартів.

Але виникають проблеми, пов'язані з використанням спектром і необхідної вихідною потужністю для мобільних мереж різних стандартів. Адже перекрити цей частотний спектр одним передавачем — завдання з технічної точки зору можливе, але при цьому обладнання буде абсолютно не придатне по масово-габаритних характеристиках для використання в існуючій мережі.

Але технологія SDR може принести користь і інакше.

Можливо до спільного головного процесорного модуля підключити декілька радіомодулів, кожен з яких забезпечує створення електромагнітного випромінювання в необхідному частотному діапазоні. Який стандарт зв'язку буде при цьому створюватися, визначається процесорним блоком і стратегією оператора по рефармінгу одних стандартів в інші.

Отже, використовуючи SDR у стільникових мережах, зменшується кількість модулів BBU (Baseband Unit), що спрощує мережеве обладнання. Крім того, можливе використання спільного транспорту для передачі інформації по трьом різним інтерфейсам для мереж різних поколінь.

Інтерфейс від процесорного блоку до радіопередавача стандартизований, і всі виробники пропонують свої варіанти реалізації протоколу CPRI — Common Public Radio Interface.

Останні реалізації протоколу CPRI підтримуються також і виробниками обладнання транспортної мережі, наприклад, радіорелейних ліній, що дозволяє підключати радіопередавачі на значних відстанях від процесорного блоку [12]. Архітектуру базових станцій показано на рис. 1.

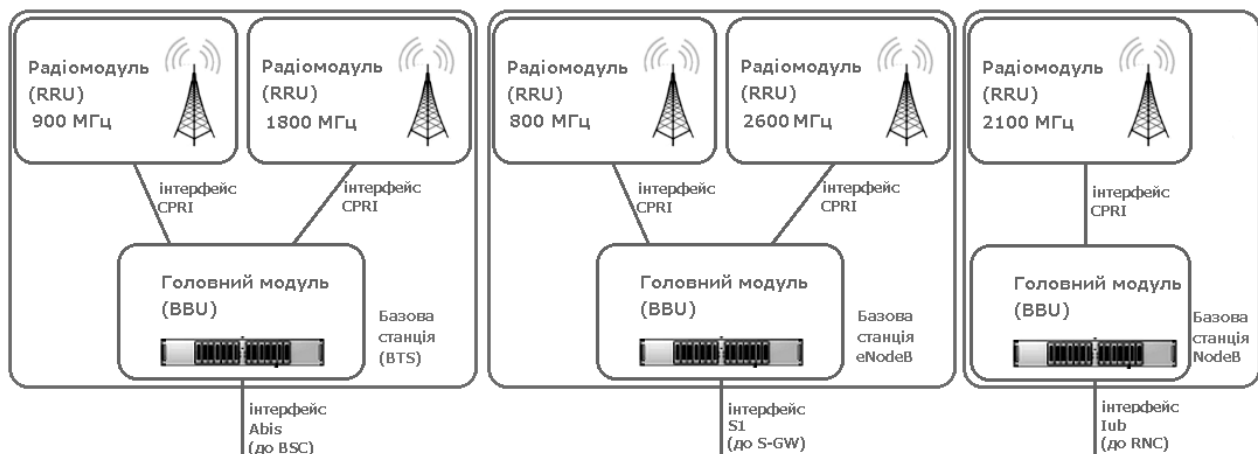


Рис. 1. Архітектура базових станцій з використанням SDR

Тепер розглянемо частину мережі оператора, призначену для прийому трафіку від мультистандартної радіомережі GSM/UMTS/LTE.

Максимально спрощена архітектура мережі GSM/UMTS містить такі основні компоненти [13]:

GSM BSC ( Base Station Controller ) — Контролер базової станції.

MGW (Media gateway) — Медіашлюз.

MSC (Mobile switching centre) — Центр мобільної комутації.

UMTS RNC (Radio Network Controller) — Контролер радіомережі.

SGSN (Serving GPRS Support Node) — Вузол обслуговування абонентів GPRS.

GGSN (Gateway GPRS Support Node) — Вузол маршрутизації даних між GPRS Core network і зовнішніми IP мережами.

Спрощена архітектура мережі LTE включає в себе [14]:

MME (Mobility Management Entity) — Вузол керування мобільністю.

S-GW (Обслуговуючий Шлюз Serving Gateway) — Обслуговуючий шлюз.

P-GW (Packet Data Network Gateway) — Пакетний шлюз.

При цьому кожен із цих компонентів являє собою стійку обладнання (а іноді і не одну) зі специфічними інтерфейсами, платами тощо. Початальниками різних вузлів виявляються різні

виробники, обладнання належить до різних поколінь і періодів розвитку мережі. Експлуатація такого обладнання складна, потребує кваліфікованих інженерів, що мають досвід експлуатації різного устаткування різних виробників. Концепція SDN, здатна позбавитись від вищезазначених недоліків та оптимізувати таку архітектуру.

Нова архітектура фактично означає заміну всіх типів різноманітного обладнання мобільних мереж (BSC, RNC, MSC, MGW, SGSN, GGSN, MME, S-GW, P-GW та ін.) загальною апаратною платформою, на якій віртуалізуються всі їхні функції. Фактично, замість великого різноманіт-

тя матимемо потужний гіпервізор з запущеними на ньому віртуальними машинами, кожна з яких виконуватиме одну з функцій апаратного обладнання. Для контролю за роботою цієї платформи буде під'єднаний SDN-контролер, що може бути спільним для одного кластеру чи навіть всієї національної мережі. Звичайно, необхідно врахувати вразливість візованих систем, тому контролер буде мати резерв та використовувати додатки API для захисту мережі, яких на даний момент існує багато.

Архітектура мережі з використанням підходів SDR і SDN зображена на рис. 2.

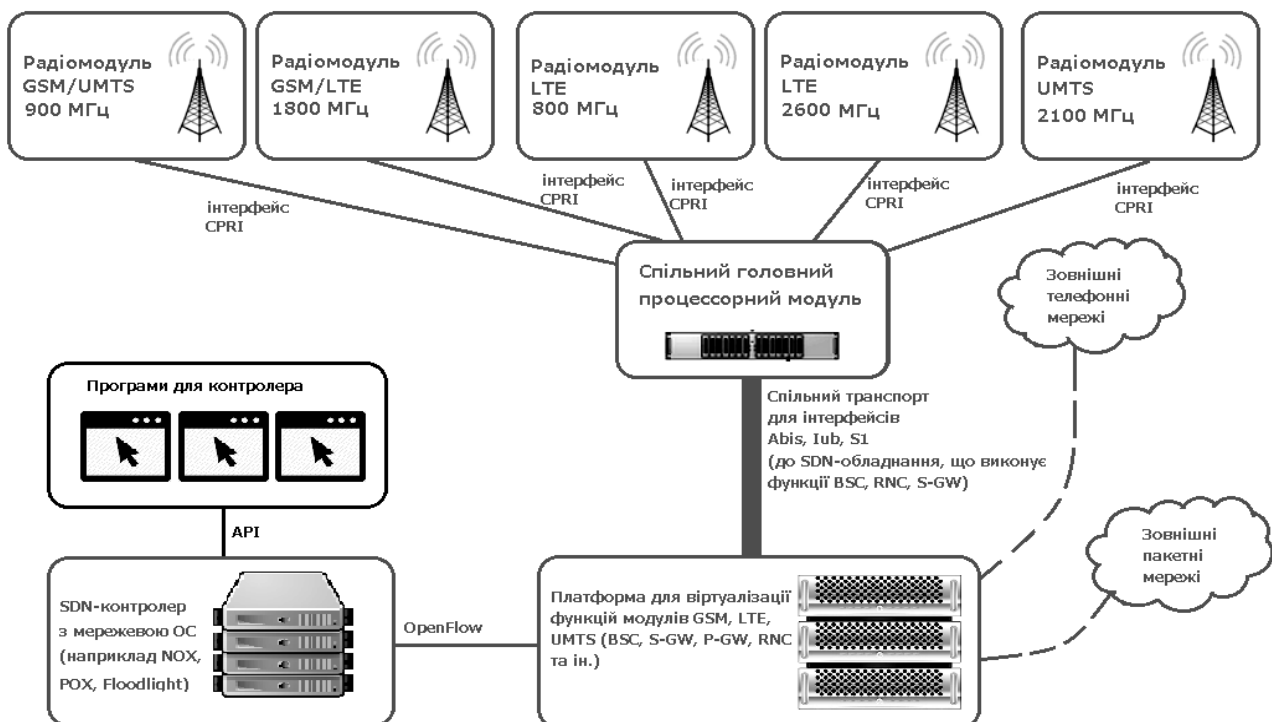


Рис. 2. Архітектура мобільної мережі з використанням SDN та SDR

Мобільна мережа, побудована таким чином, дозволяє створювати сучасні мобільні мережі, на яких легко можна переходити від стандарту до стандарту (GSM-UMTS-LTE) і надавати новітні послуги в найкоротші терміни.

### Метод побудови транспортної SDN-мережі з застосуванням OTS

Програмно-конфігуровані мережі можуть докорінно змінити оптичні транспортні мережі. SDN дозволить застосовувати централізований контроль над мережею, забезпечить її програмованість та автоматизацію надання різних сервісів для різних QoS.

Оскільки SDN початково створена для Ethernet-мереж, її застосування в оптичних мережах потребує спосіб для контролю оптичної мережі централізованими SDN-контролерами. Оптичні мережі часто відрізняються по архітек-

турі та протоколам, тому принцип ділення інформаційного та керуючого трафіку для них важче реалізувати. Також існують складнощі в застосуванні одного виду контролера для різних технологій.

Тому ONF (Open Network Foundation) проводить розробку OTS (Open Transport Switch), які працюють як посередники між контролером та оптичним комутатором. Open Transport Switch взаємодіє з контролером через протокол OpenFlow, а для взаємодії з оптичним комутатором використовується специфічний командний синтаксис для конкретного комутатора.

В оптичній мережі OTS, що під'єднана до комутатора, отримують відомості про параметри цього комутатора і передають їх до контролера. Контролер отримує інформацію про кількість каналів, пропускну здатність, параметри QoS

тощо. Отже, контролер отримує повне бачення ресурсів мережі. Це дозволяє контролеру відповідати на запити програмних додатків з конкретною пропускну здатністю і вимогами QoS. Таким чином, контролер звільнений від необхідності опрацьовувати неоднорідні дані від різного обладнання різних вендорів.

Внутрішні модулі OTS передають параметри апаратного забезпечення контролеру, повідом-

ляють контролер про зміни стану каналу, здійснюють моніторинг продуктивності. Для оптичних комутаторів різних виробників необхідні різні модифікації OTS, хоча більша частина коду однакова. Відрізняються ті модулі, що напряду взаємодіють з фізичними інтерфейсами комутатора. OTS являє собою сервер з встановленим на нього віртуальним програмним комутатором. Його внутрішня структура зображена на рис. 3.

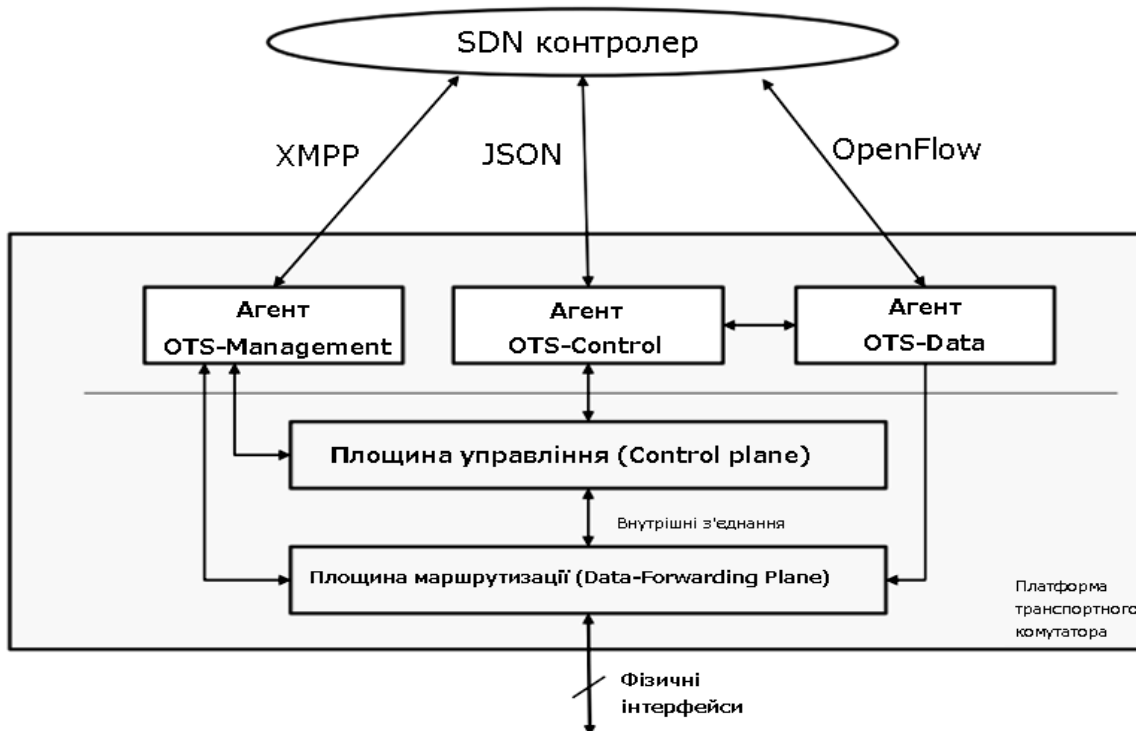


Рис. 3. Логіка побудови Open Transport Switch

Агент OTS Data відповідає за встановлення з'єднань площини трафіку (data-plane); використання даних протоколу OpenFlow.

Агент OTS Control — відповідає за конфігурацію комутатора контролером; за експортування мережевої топології.

Агент OTS Management — відповідає за отримання інформації контролером про події в реальному часі. Система управління з використанням OTS може працювати в двох режимах: явному (explicit) і неявному (implicit).

При використанні явного режиму роботи кожен транспортний комутатор має призначений для себе OTS. Тому мережевий контролер контролює напряду кожен транспортний комутатор в мережі. Такий режим роботи є більш ефективним, адже всі можливості протоколу OpenFlow та програмних додатків (а отже і переваги SDN) можуть використовуватися в повному обсязі. Але при цьому реалізація такого режиму є набагато дорожчою і в деяких випадках може бути надлишковою. Такий режим роботи для топології провайдера ISP показано на рис. 4.

За неявного режиму роботи, OTS з'єднуються лише з тими комутаторами, що знаходяться по краях доменів. При цьому також використовують існуючі сигнальні протоколи та протоколи маршрутизації всередині транспортних доменів. Контролер керує лише тими комутаторами, що під'єдані до OTS-напряду. Всередині доменів маршрутизація здійснюється протоколами транспортної мережі.

У такому разі для керування мережею необхідно розбити її на окремі домени, у яких визначити граничні комутатори. На рис. 5 показана топологія, яка поділена на п'ять таких доменів. У вузлах, що знаходяться в місцях стику кожного з доменів, розміщуємо OTS. При цьому бажано, щоб кожен із вузлів, без OTS, мав по сусідству хоча б один вузол з OTS (щоб команди контролера доходили з меншою затримкою). Ця умова виконується.

Для управління вузлами мережі, що не мають приєднаних OTS, вирішено використовувати програмний додаток контролера, розроблений

компанією Adva, для конвертації команд контролера OpenFlow в SNMP і навпаки. Використовуючи такий метод, контролер може моніторити ресурси мережі шляхом регулярного відправлення SNMP-запитів, отримувати інформацію про

зміну стану каналу шляхом відслідковування SNMP-Trap'ів тощо.

Послідовність відправлення SNMP команди до вузла, що не має OTS, відображена на рис. 6.

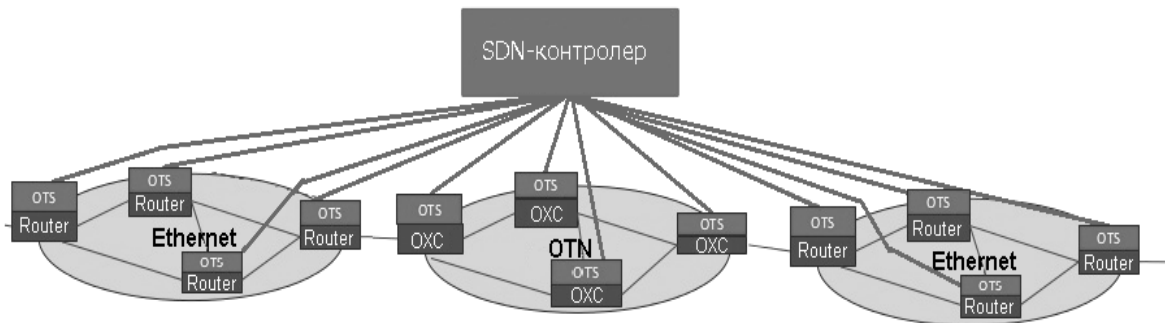


Рис. 4. Явний режим роботи

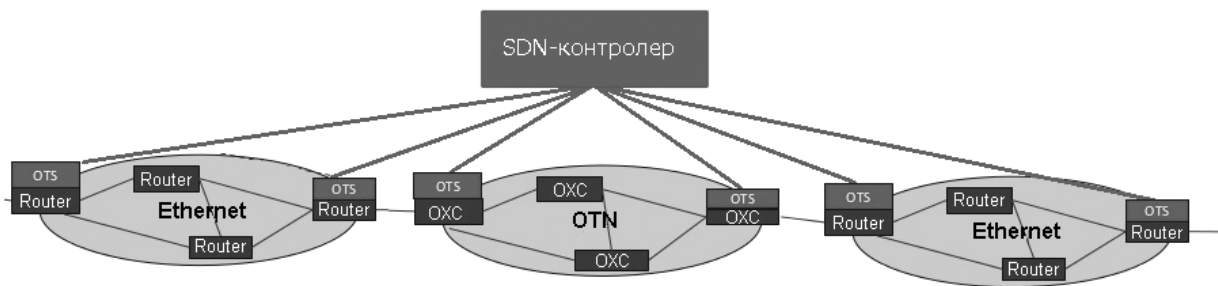


Рис. 5. Неявний режим роботи

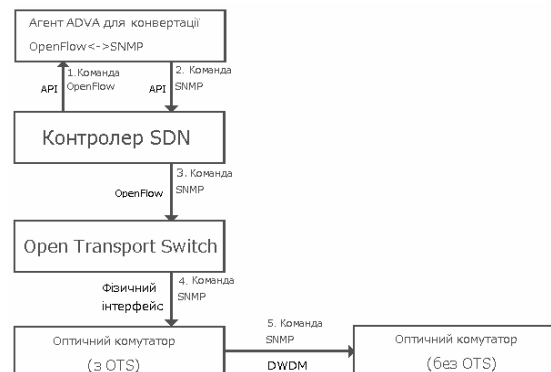


Рис. 6. Відправлення команди контролером до вузла без OTS

Звичайно, в такому випадку, можливості управління будуть обмежені можливостями протоколу SNMP, тобто вартість такого рішення буде меншою.

Визначимо вартість обладнання, яке буде використовуватися в транспортній мережі.

SDN-мережа за технологією Overlay має складатись з сервера для контролера, серверів для віртуальних комутаторів, гіпервізорів, мережевої ОС контролера та комутаторів OTS.

Як ОС-контролер, рекомендують використовувати контролер Veason, який написаний на відкритих програмних кодах та є безкоштовним. Ціна на програмні комутатори OTS не розголо-

шується і є договірною. У майбутньому очікується поява безкоштовних аналогів OTS.

У разі виникнення необхідності можливо поступово переходити від неявного до явного управління мережею, поступово додаючи OTS-сервери до вузлів мережі.

### Висновки

Так як провайдери характеризуються великими обсягами трафіку та великою кількістю, то використання ПКМ є більш ефективним, ніж використання традиційних технологій. Оператори можуть надати перевагу програмному, а не апаратному підходу до побудови ПКМ, оскільки вони вже мають власну фізичну інфраструктуру,

а Overlay дозволяє будувати ПКМ понад існуючої інфраструктурою. Провайдери часто мають транспортний оптичний сегмент, а на даний момент не існує оптичних комутаторів з підтримкою OpenFlow.

Запропоновано метод побудови Overlay-мережі провайдера бездротового широкосмугового доступу. Метод заснований на використанні SDR та віртуалізації мережевих ресурсів. Завдяки такій реалізації зменшується загальна кількість обладнання, спрощується мережеве обладнання, полегшується впровадження нових технологій та перехід до мереж нового покоління.

Розроблено проект мережі для провайдерів ISP з транспортною оптичною частиною з використанням програмних комутаторів Open Transport Switch, які дають змогу оптичним комутаторам отримувати команди контролера. Запропоновано метод управління обладнанням, яке не має на пряму під'єднаних програмних комутаторів. Оцінено приблизну вартість побудови такої мережі для провайдера ISP.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Смелянский Р.** Программно-конфигурируемые сети / Руслан Смелянский // Открытые системы. — 2012. — № 09.
2. **Черняк Л.** SDN — от замысла до рынка / Л. Черняк // Открытые системы. — 2012. — № 09.
3. SDN: прорывная технология или маркетинговый пузырь? [электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.iksmedia.ru/articles/5002752-](http://www.iksmedia.ru/articles/5002752-SDN-proryvnaya-texnologiya-ili-mark.html)

SDN-proryvnaya-texnologiya-ili-mark.html

4. Технологии реализации программно-конфигурируемых сетей / Руслан Смелянский // Журнал сетевых решений / LAN. — 2014. — № 04.

5. SDN: прорывная технология или маркетинговый пузырь? [электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.iksmedia.ru/articles/5002752-SDN-proryvnaya-texnologiya-ili-mark.html> ru.wikipedia.org /wiki/ Программно-определяемая\_сеть.

6. Постачальник услуг Интернету [Электронный ресурс]. — Режим доступа до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Постачальник\\_услуг\\_Интернету](https://uk.wikipedia.org/wiki/Постачальник_услуг_Интернету).

7. **Башилов Г.** Восхождение к частотам / Георгий Башилов // Журнал сетевых решений/Телеком. — 2011. — № 03.

8. Software Defined Radio : [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Software\\_Defined\\_Radio](https://uk.wikipedia.org/wiki/Software_Defined_Radio).

9. **Киви Б.** Год Радио / Берд Киви // Мир ПК. — 2012. — № 12.

10. Радиорелейная система PPC-1000-CPRI : [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://dokltd.ru/products/a20035>.

11. Overview of GSM, GPRS and UMTS : [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://docstore.mik.ua/univercd/cc/td/product/wireless/moblwrls/cmx/mmg\\_sg/ccmxgs.htm](http://docstore.mik.ua/univercd/cc/td/product/wireless/moblwrls/cmx/mmg_sg/ccmxgs.htm).

12. LTE Network Architecture : [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.tutorialspoint.com/lte/lte\\_network\\_architecture.htm](http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm).

**Одарченко Р. С., Даков С. Ю.**

#### МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ SDN-МЕРЕЖІ ОПЕРАТОРСЬКОГО КЛАСУ

*Проаналізовано актуальність застосування SDN для ISP провайдера. Було побудовано модель використання, Інтернет-послуг із застосуванням SDR та SDN та оптична мережа OTS, які використовуються для подачі стаціонарного, та мобільного інтернету. Запропоновані приклади обладнання, та програмного забезпечення. Прорахована вартість апаратної та програмної частини програмно — керованої мережі.*

**Ключові слова:** ISP (Internet Service Provider), OTS (open transport switch), SDN (software-defined networking), SDR (software-defined radio).

**Одарченко Р. С., Даков С. Ю.**

#### ПРОЕКТ СЕТИ SDN, ДЛЯ ПРОВАЙДЕРОВ ISP

Проанализирована актуальность применения SDN для ISP провайдера. Была построена модель использования, Интернет услуг с применением SDR, SDN, и оптическая сеть OTS, которые используются для подачи стационарного и мобильного Интернета. Предложены примеры оборудования и программного обеспечения. Прочитана стоимость аппаратной и программной части программно-управляемой сети.

**Ключевые слова:** ISP (Internet Service Provider), OTS (open transport switch), SDN (software-defined networking), SDR (software-defined radio).

**Roman Odarchenko, Dakov Serhii**

#### PROJECT NETWORK SDN, FOR PROVIDERS ISP

*The work analyzes the relevance SDN application for ISP provider. It was built model use Internet services using SDR and SDN and optical network OTS. What used to supply stationary and mobile internet. Proposed examples of equipment and software. Calculated the cost of the hardware and software of the program-controlled network.*

**Keywords:** ISP (Internet Service Provider), OTS (open transport switch), SDN (software-defined networking), SDR (software-defined radio).

Стаття надійшла до редакції 08.11.2017 р.

Прийнято до друку 15.11.2017 р.

Рецензент — д-р техн. наук, проф. Оксіюк О. Г.