

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 35.052.10 Національного університету
"Львівська політехніка"
79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **КРАСЬКО ОЛЕНИ ВОЛОДИМИРІВНИ "Методи та алгоритми підвищення ефективності функціонування конвергентних оптичних мережах доступу"**, подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

1. Актуальність теми дисертації

Стрімкий розвиток сучасних інформаційних технологій стимулює появу нових мультимедійних послуг, зростання якості контенту та розвиток концепції хмарних обчислень, які з кожним днем генерують все більше інформаційного трафіку. На сьогоднішній час спостерігається чітка тенденція зростання мобільного трафіку в мережі Інтернет, що зумовлено стрімким розвитком мереж четвертого та п'ятого покоління. Передбачається, що в мережах 5G сумарна пропускна здатність буде у сотні разів вищою у порівнянні з існуючими мережами 4G. Це в свою чергу спричиняє суттєве зростання трафіку в оптичних мережах доступу. Саме тому, значна кількість сучасних досліджень спрямована на розроблення мережних архітектур та методів передавання даних в оптичних мережах доступу, з метою забезпечення гарантованої пропускної здатності в залежності від поточного трафіку. Враховуючи флюктуаційну природу трафіку сучасних мереж із пакетною комутацією, виникає проблема частих змін навантаження у різних сегментах мережі доступу.

Тому, актуальною є тематика дисертаційної роботи Красько О. В., яка присвячена розробленню методів мультиплексування пакетного трафіку в оптичних мережах доступу, які б дали змогу враховувати динаміку зміни вимог до пропускної здатності каналів та часові статистичні залежності інтенсивності навантаження у сегментах мобільного та фіксованого доступу.

2. Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота Красько Олени Володимирівни присвячена вирішенню завдання розроблення моделей, методів та алгоритмів

передавання інформаційних потоків у конвергентних мережах з інтеграцією сегментів мобільного та фіксованого доступу із забезпеченням ефективного використання пропускної здатності оптичних каналів зв'язку в умовах нестаціонарної інтенсивності трафіку та змінних вимог до параметрів якості передавання даних.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Робота викладена на 153 сторінках, включаючи 101 сторінку основного тексту. Перелік використаних джерел містить 158 найменувань.

У вступі подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано всі процедурні положення та подано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

У першому розділі проведено аналіз останніх релевантних робіт та існуючих концепцій розвитку конвергентних мереж доступу. що основним обмеженням з точки зору продуктивності оптичної мережної інфраструктури є складність розподілу інформаційних потоків між різними сегментами мережі фіксованого доступу, а також мережами мобільного зв'язку. Це, в свою чергу, потребує створення нових моделей розподілу ресурсів та балансування трафіку, які б враховували динаміку зміни інтенсивності навантаження при конвергенції оптичного та мобільного сегментів мережі. Виокремлено сукупність першочергових взаємопов'язаних задач, розв'язання яких у комплексі дасть змогу підвищити ефективність функціонування конвергентних оптичних мереж доступу в умовах нестаціонарної інтенсивності трафіку та змінних вимог до параметрів якості передавання даних.

У другому розділі запропоновано моделі, методи та алгоритми розподілу інформаційних потоків в оптичних мережах доступу із конвергенцією сегментів фіксованого та мобільного зв'язку. Запропоновано модель конвергенції фіксованих та мобільних мереж доступу, яка дає змогу підвищити ефективність використання пропускної здатності оптичних каналів зв'язку в конвергентній мережній інфраструктурі. Запропоновано метод балансування трафіку між окремими сегментами мережі доступу, який, дав змогу підвищити сумарну ефективність використання пропускної здатності у конвергентній оптичній мережі доступу. Крім того, запропоновано удосконалений метод розподілу каналних ресурсів у пасивних оптичних мережах доступу із групуванням спектрально-часових ресурсних блоків, який дав змогу підвищити ефективність використання пропускної здатності мережі за рахунок адаптації процесу передавання службового трафіку. Розроблено алгоритм групування інформаційних

потоків комірок мобільного зв'язку при здійсненні хендоверу, який дав змогу знизити обсяг службового трафіку в конвергентній мережі доступу.

У третьому розділі проведено Моделювання процесу передавання пакетного трафіку в конвергентних оптичних мережах доступу. Дослідження проводились на основі експериментального сегменту мережі доступу, який був використаний для статистичного аналізу реального трафіку у мережі доступу. Визначено статистичні співвідношення для пакетів за розмірами та протоколами різних рівнів моделі ISO/OSI для трьох основних сервісів згідно класифікації "Triple play". На основі отриманих статистичних залежностей отримано наближену оцінку співвідношення між вимогами до пропускної здатності конвергентних оптичних мереж доступу в низхідному та висхідному напрямках передавання. Проведено моделювання характеристик трафіку в гетерогенних мережах мобільного зв'язку з однією макрокоміркою та різною кількістю мікрокомірок. Результати моделювання показали, що при високих значеннях спектральної ефективності радіоканалів мережі мобільного зв'язку вимоги до пропускної здатності опорної транспортної мережі перевищують максимально можливе значення пропускної здатності одного ресурсного блоку конвергентної оптичної мережі доступу. Для вирішення даної проблеми запропоновано алгоритм агрегації ресурсних блоків у конвергентній оптичній мережі доступу, який дає змогу перегруповувати ресурси мережі доступу з метою підвищення пропускної здатності окремих сегментів. Проведено моделювання для дослідження ефективності запропонованого алгоритму реалізації хендоверу в мережах мобільного зв'язку з використанням групування інформаційних потоків. Результати моделювання підтверджують ефективність рішень, запропонованих у дисертаційній роботі.

У четвертому розділі запропоновано нову модель площини керування з віртуалізацією функцій конвергентної мережі з інтеграцією сегментів фіксованого та безпроводного доступу. Особливістю даної моделі є можливість контролювати процес розподілу інформаційних потоків одночасно у сегментах фіксованого доступу, опорних транспортних мережах та мережах радіодоступу. Віртуалізація ресурсів у конвергентній мережі доступу здійснюється на основі високопродуктивних обчислювальних кластерів, які будуються в межах розподілених центрів оброблення даних. Наскрізний контроль за процесом передавання інформаційних потоків здійснюється на основі алгоритмів програмного управління ресурсами на основі технології SDN. Концепція запропонованого рішення базується на чотирьох окремих компонентах гетерогенної інформаційно-комунікаційної інфраструктури, які поєднуються у глобальну систему, а саме: центри

обробки даних, конвергентні оптичні мережі доступу та сегменти «останньої милі» на основі фіксованих або мобільних мереж зв'язку.

У додатках до роботи подано акти впровадження її результатів та список праць, у яких відображені результати дисертаційної роботи.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, наданих в дисертації, їхня достовірність

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Красько Олени Володимирівни, впливають з наступного:

- отримані результати не суперечать класичним положенням теорії систем оптичного та безпроводного зв'язку;
- достовірність отриманих претендентом науково-практичних результатів засвідчено актами впровадження;
- отримані нові результати гармонійно доповнюють відомі;
- матеріали дисертації обговорювались на 18 міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях, а також на наукових семінарах, і отримали схвальну оцінку.

4. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

1. Вперше запропоновано модель конвергенції фіксованих та мобільних мереж доступу, яка, на відміну від існуючих, враховує періодичність зміни абонентського трафіку в комірках мереж мобільного зв'язку, що дало змогу підвищити ефективність використання пропускної здатності оптичних каналів зв'язку в конвергентній мережній інфраструктурі.

2. Вперше запропоновано метод балансування трафіку між окремими сегментами мережі доступу, який, на відміну від існуючих, враховує взаємозалежності інтенсивності навантаження в окремих сегментах мережі, що дало змогу підвищити сумарну ефективність використання пропускної здатності у конвергентній оптичній мережі доступу.

3. Набула подальшого розвитку модель віртуалізації мережних функцій шляхом застосування адаптивного планування та розподілу ресурсів з програмним управлінням конвергентною інфраструктурою мережі доступу, що дало змогу підвищити сумарну пропускну здатність мережі мобільного зв'язку з одночасним підвищенням ефективності використання оптичних каналів передавання даних.

4. Удосконалено метод розподілу каналних ресурсів у пасивних оптичних мережах доступу зі спектральним ущільненням каналів шляхом групування спектрально-часових ресурсних блоків для абонентської та службової інформації, що дало змогу підвищити ефективність використання

пропускної здатності мережі за рахунок адаптації процесів передавання службового трафіку.

5. Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях

Основні результати, які отримані в дисертаційній роботі, опубліковано в 24 наукових публікаціях, серед яких 5 статей у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 1 стаття у виданні рекомендованому МОН України, 18 публікацій у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій. Опубліковані праці повністю висвітлюють матеріали дисертаційної роботи.

Результати дисертаційної роботи Красько О.В. пройшли всебічну апробацію на семінарах та конференціях, в тому числі міжнародних, і отримали схвалення провідних фахівців телекомунікаційної галузі.

6. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Оформлення дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт, а також чинним вимогам Постанов Кабінету Міністрів України. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, висвітлює всі отримані результати, сформульовані висновки та запропоновані рекомендації. Стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

7. Важливість для науки і народного господарства одержаних результатів та шляхи їх використання

Розроблено алгоритм мультиплексування корисного та службового трафіку у спектрально-часові ресурсні блоки, який дає змогу підвищити коефіцієнт використання пропускної здатності пасивної оптичної мережі до 5% у низхідному каналі та до 15% у висхідному каналі в залежності від поточної інтенсивності трафіку.

Розроблено алгоритм групування інформаційних потоків комірок мобільного зв'язку при здійсненні хендверу, який дає змогу знизити обсяг службового трафіку в конвергентній мережі доступу до 20 % в залежності від поточного рівня мобільності абонентів.

Запропоновано алгоритм агрегації ресурсних блоків в конвергентній оптичній мережі доступу, який дає можливість у періоди пікового навантаження підвищувати пропускну здатність для сегменту або комірки до 160, 240 або 320 Гбіт/с при агрегації 2, 3 або 4 ресурсних блоків, відповідно.

Запропоновано архітектуру конвергентної мережі доступу з інтеграцією сегментів фіксованого та мобільного зв'язку, яка дає змогу

мультиплексувати сигнали мережі радіодоступу в межах спектрально-часових ресурсних блоків за технологією пасивних оптичних мереж доступу.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використано в навчальному процесі, в лекційних курсах і лабораторних роботах, які проводяться для студентів кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка».

У додатку до роботи подано акти використання результатів роботи у промисловості та навчальному процесі, які підтверджують їх достовірність.

8. Зауваження до дисертаційної роботи

1. Перший розділ роботи перенасичений аналізом технології пасивних оптичних мереж та описом стандартів сімейства IEEE 802.3. Доцільніше було б приділити більше уваги саме проблематиці адаптивного розподілу ресурсів у таких мережах, що є одним із завдань дисертаційної роботи.

2. У другому розділі дисертаційної роботи не наведено блок-схеми запропонованого методу адаптивного розподілу ресурсів, що ускладнює його розуміння. Зокрема, не зовсім зрозуміло, яким чином буде здійснюватись процедура виділення ресурсних елементів, описана виразами (2.1) – (2.5), одночасно для кількох вузлів ONU.

3. У третьому розділі представлено значну кількість експериментальних результатів дослідження статистичних характеристик трафіку. Проте, в авторефераті не подано структурної схеми тестової мережі та основних статистичних результатів.

4. З тексту четвертого розділу не зрозуміло чи представлена на рис. 4.5 архітектура конвергентної оптичної мережі доступу запропонована вперше, чи була відома раніше.

5. Не зовсім зрозуміло, чи запропонована модель віртуалізації функцій конвергентної мережі доступу потребує істотної модифікації мережної інфраструктури чи достатньо провести зміни лише на рівні програмного забезпечення протоколів для SDN/NFV.

6. В тексті роботи присутні незначні стилістичні та граматичні помилки.

Загальні висновки

1. Дисертаційна робота Красько Олени Володимирівни є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, важливі для подальшого розвитку конвергентних мереж доступу.

2. Сукупність наукових положень, сформульованих та обґрунтованих у дисертаційній роботі, має практичну цінність і становить вирішення наукової

задачі розроблення моделей, методів та алгоритмів передавання інформаційних потоків у конвергентних мережах з інтеграцією сегментів мобільного та фіксованого доступу із забезпеченням ефективного використання пропускної здатності оптичних каналів зв'язку в умовах нестационарної інтенсивності трафіку та змінних вимог до параметрів якості передавання даних.

3. Дисертаційна робота за змістом відповідає вимогам Паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

4. За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 11, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою КМУ №567 від 24.07.2013р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ №656 від 19.08.2015р., №1159 від 30.12.2015р. та №567 від 27.07.2016р.), а здобувач Красько Олена Володимирівна заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,

професор кафедри кібербезпеки та захисту інформації

Київського національного

університету імені Тараса Шевченка



С.В. Толюпа

Підпис засвідчую
Вчений секретар НАЧ
КАРАУЛЬНА Н.В.
03.04.2018р.

