

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Думича Степана Степановича "Методи та алгоритми підвищення ефективності комутації інформаційних потоків у оптичних транспортних мережах", 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 інформаційно-комунікаційних технологій призвів до зростання кількості різноманітних сервісів та застосувань з високими вимогами до продуктивності мереж зв'язку. Відомо, що підвищення пропускної здатності оптичних мереж зв'язку досягається шляхом використання технології спектрального ущільнення каналів. Проте, в умовах змінної інтенсивності трафіку в мережах з пакетною комутацією виникає проблема розподілу інформаційних потоків між різними маршрутами з ефективним використанням їх пропускної здатності. Відомі рішення з використанням маршрутизації довжин хвиль не пристосовані до передавання та комутації інформаційних потоків із високою дискретністю розподілу пропускної здатності. Водночас, існуючі методи пакетної комутації інформаційних потоків не дають змогу ефективно використовувати пропускну здатність оптичних мереж зв'язку, оскільки потребують окремого обслуговування кожного пакету, що спричиняє затримку, яка у десятки разів перевищує час поширення сигналу по оптичних лініях зв'язку. Тому, ефективним рішенням є використання технології оптичної комутації блоків, яка полягає у групуванні трафіку за класами та вузлами призначення, що дає змогу підвищити ефективність процесу обробки службової інформації у комутаційних вузлах і, відповідно, підвищити продуктивність оптичної мережної інфраструктури. Отже, тематика представленої дисертаційної роботи є актуальною.

2. Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота Думича Степана Степановича присвячена вирішенню наукового завдання розроблення моделей, методів та алгоритмів комутації інформаційних потоків у оптичних транспортних мережах зі складною структурою в умовах змінних вимог до параметрів якості передавання даних та різних флуктуацій інтенсивності трафіку.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та одного додатку. Робота викладена на 152 сторінках, включаючи 115 сторінок основного тексту. Перелік використаних джерел містить 150 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 оптичних транспортних мереж. Встановлено, що основні обмеження з точки зору продуктивності оптичної мережної інфраструктури привносять процеси агрегації трафіку на межі «доступ-транспорт», а також процеси комутації та розподілу інформаційних потоків у проміжних вузлах оптичної транспортної мережі. Це, в свою чергу, потребує створення нових підходів до управління інформаційними потоками, керування комутаційними вузлами та пріоритезації потоків з урахуванням вимог до параметрів якості передавання даних. Виокремлено сукупність першочергових взаємопов'язаних задач, розв'язання яких у комплексі дасть змогу підвищити ефективність оптичних транспортних мереж для забезпечення зростаючих вимог до пропускної здатності та якості передавання даних.

У другому розділі запропоновано моделі та алгоритми комутації інформаційних потоків у повністю оптичних транспортних мережах. Запропоновано удосконалений метод агрегації трафіку у крайових вузлах оптичної транспортної мережі з комутацією блоків, який адаптивно враховує критерії затримки та втрат пакетів в залежності від вимог трафіку та його інтенсивності. Запропоновано модель диференційної сегментації блоків на основі пріоритетного сортування пакетів різних класів у межах одного блоку. Запропонована модель використовує сортування пакетів у блоці в порядку спадання пріоритету, забезпечуючи, таким чином, їх надійну доставку. Запропоновано математичну модель процесу функціонування оптичного вузла з комутацією блоків, яка є адаптованою до програмно-апаратної реалізації блоку керування оптичним крос-комутатором.

У третьому розділі роботи проведено моделювання процесу агрегації блоків у крайовому вузлі мережі з оптичною комутацією блоків. Дослідження проводились для двох існуючих методів агрегації блоків: методу, що враховує критерій завантаженості буфера та методу, що враховує критерій часу затримки, які порівнювались із запропонованим адаптивним пороговим методом, який оцінює динаміку зростання завантаженості буфера для виявлення різких флуктуацій навантаження. Також проведено моделювання процесу агрегації пакетного трафіку у комутаційному вузлі з використанням запропонованої моделі диференційної сегментації блоків за

класами трафіку. При моделюванні використовувалась модель вузла з двома вхідними та двома вихідними каналами сумарною пропускнуою здатністю 400 Мбіт/с. Результати моделювання підтверджують ефективність запропонованих рішень.

У четвертому розділі дисертації запропоновано принципи побудови та систему керування оптичною мережею, яка виконує функції керування інформаційними потоками у мережі зі складною топологічною структурою, неоднорідними характеристиками інтенсивності трафіку та вимогами до параметрів якості передавання. Особливістю площини керування є програмно-керовані крайові та проміжні вузли оптичної транспортної мережі, які взаємодіють із центральним контролером та підтримують незалежне віддалене реконфігурування окремих програмно-апаратних модулів без переривання процесу функціонування мережі. Це досягається шляхом використання модифікованих структурно-функціональних схем крайового та проміжного вузлів на основі програмованих логічних інтегральних схем. Модифікований крайовий вузол мережі OBS забезпечує взаємодію модулів класифікації пакетів, планування блоків та генерації ВНР з SDN контролером.

У додатку до роботи подано акти впровадження її результатів.

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

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Думича Степана Степановича, впливають з наступного:

- отримані результати не суперечать класичним положенням теорії телекомунікаційних систем;
- достовірність отриманих претендентом науково-практичних результатів засвідчено актами впровадження;
- отримані нові результати гармонійно доповнюють відомі;
- матеріали дисертації обговорювались на 11 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 математичну модель оптичного комутаційного вузла мережі на основі бінарних матриць переходу, що дало змогу адаптувати метод оптичної комутації блоків до програмно-апаратної реалізації підсистеми керування крос-комутатором та зменшити втрати блокування пакетів за рахунок зменшення затримки службових блоків у вузлі.

2. Вперше запропоновано метод диференційної сегментації блоків на основі пріоритетного сортування пакетів різних класів у межах одного блоку, що дає можливість покращити параметри якості передавання інформаційних потоків за рахунок зниження ймовірності втрат пріоритетних пакетів.

3. Вперше запропоновано структурно-функціональну модель програмно-апаратного блоку керування оптичним комутаційним вузлом на основі програмованих логічних інтегральних схем, яка, на відміну від існуючих, враховує незалежну динамічну реконфігурацію окремих функціональних компонентів вузла, відповідно до технології програмно-конфігурованих мереж.

4. Удосконалено метод агрегації трафіку мереж доступу в крайовому вузлі оптичної транспортної мережі з комутацією блоків шляхом використання адаптивного критерію формування блоку, що дає змогу підвищити ефективність використання пропускну здатності оптичних каналів зв'язку при одночасному забезпеченні належної якості передавання інформаційних потоків.

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

Основні результати, які отримані в дисертаційній роботі, опубліковано в 17 наукових публікаціях, серед яких 6 статей у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 11 публікації у збірниках праць міжнародних і всеукраїнських конференцій. Опубліковані праці повністю висвітлюють матеріали дисертаційної роботи.

Результати дисертаційної роботи Думича С.С. 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 та автореферату 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 адаптивний алгоритм агрегації трафіку у крайовому вузлі оптичної мережі з комутацією блоків, який дав змогу підвищити

ефективність використання пропускної здатності оптичних каналів зв'язку на 10-25% при одночасному зменшенні кількості втрачених пакетів до 10 разів, в залежності від інтенсивності трафіку в мережах доступу.

Запропоновано алгоритм комутації інформаційних потоків у проміжному вузлі оптичної мережі, що дав змогу зменшити затримку в процесі оброблення пакетів заголовків на 20% та 40% при використанні 40 та 80 довжин хвиль в оптичних каналах, відповідно.

Розроблено алгоритм диференційної сегментації блоків, який дав змогу знизити коефіцієнт втрат пріоритетних пакетів у 2 рази за рахунок сортування пакетів блоку в порядку спадання пріоритету.

Розроблено структурно-функціональну схему програмно-керованого оптичного комутатора, що дала змогу знизити затримку в процесі комутації інформаційних потоків у оптичній мережі зі складною топологічною структурою.

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 дисертації 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 технологій маршрутизації довжин хвиль у оптичних транспортних системах зі спектральним ущільненням каналів. Доцільніше було би приділити більше уваги саме проблематиці комутації пакетів у оптичних транспортних мережах.

2. З тексту роботи не зовсім зрозуміло, чи структурно-функціональні схеми крайового та проміжного вузлів, представлені на рис. 2.2 і 2.9, відповідно, були запропоновані автором, чи модифіковані шляхом зміни окремих компонентів.

3. Перший пункт наукової новизни має характерні риси методу з чітким представленим алгоритмом функціонування. Тому не зовсім зрозуміло, чому автор вирішив представити його як математичну модель.

4. У третьому розділі приведено відомий математичний апарат теорії систем масового обслуговування, який використовувався для моделювання процесів передавання трафіку. На мою думку, доцільно представляти лише основні залежності.

5. З тексту четвертого розділу незрозуміло, як саме відбувається вибір маршруту для передавання блоку: безпосередньо у комутаційних вузлах чи за допомогою програмного конфігурування у контролері мережі.

6. Не зовсім зрозуміло, чи здійснював автор модифікацію протоколу OpenFlow для програмно-конфігурованої мережі з комутацією блоків чи використав існуючі версії протоколу.

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

9. Загальні висновки

1. Дисертаційна робота Думича Степана Степановича "Методи та алгоритми підвищення ефективності комутації інформаційних потоків у оптичних транспортних мережах" є завершеною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, важливі для подальшого розвитку оптичних транспортних систем.

2. Сукупність наукових положень, сформульованих та обґрунтованих у дисертаційній роботі, має практичну цінність і становить вирішення наукової задачі розроблення моделей, методів та алгоритмів комутації інформаційних потоків у оптичних транспортних мережах зі складною структурою в умовах змінних вимог до параметрів якості передавання даних та різких флуктуацій інтенсивності трафіку.

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

4. Матеріали дисертації достатньо апробовані, доповідались на міжнародних і всеукраїнських конференціях, наукових семінарах, висвітлені в наукових публікаціях.

5. Автореферат об'єктивно і з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації.

6. Структура дисертації є обґрунтованою.

7. Наведені зауваження не змінюють загальну позитивну оцінку наукової значимості і практичної цінності дисертаційної роботи.

8. За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертаційна робота відповідає вимогам чинного "Порядку присудження наукових ступенів" Кабінету Міністрів України, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент,
Лауреат Державної Премії України
в галузі науки та техніки,
Заслужений діяч науки і техніки України,
професор кафедри волоконно-оптичних ліній зв'язку
Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова,
доктор технічних наук, професор



ПІДПИС ЗАВІРЮЮ:
ВЧЕННИЙ СЕКРЕТАР
ОНАЗ ІМ. О.С. ПОПОВА
Рудя Г.В.

О.В. Бондаренко