

ВІДГУК
офіційного опонента
доктора технічних наук, професора Власова Олександра
Миколайовича
на дисертаційну роботу Кайдана Миколи Володимировича
«Методи та моделі побудови енергоефективних фотонних
транспортних мереж», подану на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук за спеціальністю
05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність обраної теми дисертаційної роботи

Невпинне зростання потоків інформації приводить до постійної модернізації телекомунікаційних мереж, як в частині обладнання вузлів мережі, так і постійного розширення пропускних здатностей каналів передавання для зростаючого обсягу потокового трафіку та забезпечення необхідного рівня якості обслуговування. Збільшення трафіку створює ряд проблем у часі передачі даних, виникненні їхніх втрат та призводить до встановлення додаткового обладнання і відповідно до збільшення затрат необхідної кількості електроенергії для роботи мереж, зокрема оптичної транспортної мережі. Власне енергетичне споживання телекомунікаційних мереж є актуальною науковою роботою, оскільки саме енергозатратність призводить до пошуку і розробки нових методів для забезпечення необхідних робочих параметрів мережі із невеликими капітальними та операційними витратами для оператора та високим сервісом обслуговування для абонентів.

Донедавна оптична транспортна мережа задовольняла у повній мірі зазначені проблеми, але затримки під час комутації внаслідок оптоелектронних перетворень змушують здійснювати перехід до фотонних транспортних мереж.

Однією з основних проблем повністю оптичних транспортних мереж є складність оптичної комутації вузлів. Крім того, незважаючи на використання оптичних підсилювачів та компенсаторів дисперсії у волоконно-оптичних лініях зв'язку, довжина регенераційної ділянки все ще

обмежена. Впровадження нових пристроїв у оптичних транспортних мережах, у тому числі фотонно-кристалічних, відкриває нові можливості для підвищення параметрів якості обслуговування інформаційних систем.

Отже, тема дисертаційної роботи є актуальною і спрямована на вирішення наукової проблеми підвищення ефективності фотонної транспортної мережі із забезпеченням мінімізації енергоспоживання, часових параметрів та ймовірності втрат даних

Короткий аналіз змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Кайдана Миколи Володимировича складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку літератури.

У *вступі* наведено загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі досліджень, обґрунтовано наукову новизну одержаних результатів. Розглянуто зв'язок роботи з науковими темами, реалізацію і впровадження результатів роботи. Подано відомості про апробацію результатів роботи та публікації, особистий внесок дисертанта, отримані у співавторстві наукові результати.

У *першому розділі* проведено аналіз фотонної транспортної мережі та надані основні визначення, які використовуються у роботі. Висвітлено стан проблеми і необхідність дослідження фотонної транспортної мережі. Висвітлені основні характеристики та вимоги, що ставляться до мереж майбутнього. Подано математичні підходи для проведення досліджень в телекомунікаційних мережах.

У *другому розділі* розглянуто основні моделі теорії випадкових графів, описано тензорну модель для багатошляхової маршрутизації, запропоновано використання тензорної моделі диференціальної геометрії для дослідження параметрів телекомунікаційної мережі та представлено алгоритм аналізу параметрів телекомунікаційних мереж великих розмірів шляхом використання методу діакоптики.

Третій розділ присвячений визначенню компонент тензора в криволінійній системі координат для телекомунікаційної мережі, дослідженню фотонної транспортної мережі за допомогою методу діакоптики при багатопляховій маршрутизації, а також побудові вказівних поверхонь коефіцієнта електромеханічного зв'язку та коефіцієнта акустооптичної якості для кристалів LiNbO_3 .

Четвертий розділ присвячений дослідженню параметру енергоефективності оптичної транспортної мережі. Представлено загальний підхід визначення параметру енергоефективності для оптичної транспортної мережі. Проведено дослідження параметру енергоефективності в залежності від зміни швидкості передачі даних для маршрутизатора, акустооптичного комутатора і електрооптичного модулятора. Запропоновано використання EDFA підсилювачів на базі ФКВ з використанням ущільнення. Досліджено вплив використання технології об'єднання міток (Link Bundling) в мережі GMPLS на енергетичне споживання транспортної оптичної мережі. Визначено і оцінено параметр енергоефективності при здійсненні комутації різних фундаментальних об'єктів (пакетів, часових блоків, хвиль) з використанням GMPLS.

П'ятий розділ присвячений оцінці топологічних структур PTN з використанням моделей випадкового графа, що проводилась шляхом визначення залежності середньої довжини шляху та коефіцієнта кластеризації від кількості вузлів та ймовірності їх з'єднання в мережі. В розділі також проведено аналіз завантаженості PTN за допомогою досліджень відносної працездатності кількості вузлів і гілок на основі моделей випадкового графу та теорії перколяції.

У шостому розділі представлено результати проведеного моделювання та дослідження ефективності протоколів сигналізації для технології OBS, на основі чого сформовано підходи побудови OBS для фотонної транспортної мережі. Визначено, що при використанні протоколів сигналізації JET виникають втрати блоку і для даного випадку запропоновано

використовувати буферизацію. Розглянуто можливість використання різних протоколів в залежності від розміру блоків та рекомендовано при використанні протоколів JET та INI для уникнення втрат блоків, які надходять на переповнений оптичний буфер, передавати їх на приймач транзитного вузла та здійснювати перетворення сигналу в електричний. Також проведено дослідження протоколів сигналізації OBS за допомогою теорії перколяції та визначено і оцінено параметр енергоефективності.

Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій

Вперше:

- запропоновано використання теорії диференціальної геометрії для дослідження параметрів телекомунікаційної мережі, яка, на відміну від використовуваних тензорних моделей, враховує динамічні зміни станів мережі;

- запропоновано здійснювати розрахунки методом лінійного програмування на основі транспортної задачі з використанням методу діакоптики для дослідження параметрів телекомунікаційної мережі,

- запропоновано модель керування навантаженням у фотонній транспортній мережі на основі теорії позиційної перколяції, що дозволило провести аналіз часових параметрів та втрат передавання даних у залежності від умов завантаженості мережі, побудованої за технологією OBS для різних протоколів сигналізації.

Подальшого розвитку набули:

- тензорна модель багатошляхової маршрутизації для випадку використання двостороннього зв'язку між транзитними вузлами мережі;

- модель 3D-аналізу коефіцієнта електромеханічного зв'язку за допомогою вказівних поверхонь, що дозволяє визначати ефективні просторові конфігурації зрізів для реалізації активних елементів в акустооптичних пристроях комутації фотонної транспортної мережі на основі кристалів LiNbO_3 за критерієм енергетичної ефективності;

- оцінці топологічних структур PTN з використанням моделей випадкового графа, що проводилась шляхом визначенням залежності середньої довжини шляху та коефіцієнта кластеризації від кількості вузлів та ймовірності їх з'єднання в мережі.

Удосконалено :

- математичну модель визначення параметра енергоефективності для оптичної транспортної мережі, яка враховує практично всі робочі параметри мережі.

Практична цінність отриманих результатів

За результатами дисертаційних досліджень прослідковується практичне значення отриманих результатів у наступному:

- необхідності використання буферизації у технології OBS для протоколу сигналізації JET;

- формуванні концепції побудови комутаційних вузлів OBS на основі акустооптичної комірки, що дозволяє комутувати сигнал у двох площинах;

- визначенні орієнтації кристалів LiNbO₃ для ефективного використання в акустооптичних пристроях як п'єзоперетворювача;

- при дослідженні енергоефективності оптичної транспортної мережі визначено, що: для зменшення енергетичного споживання необхідно уникати використання проміжного оптоелектронного перетворення, що дозволяє зекономити до 63% енергії; визначено, що PM-QPSK модулятор на даний момент є кращим рішенням для PTN; для зменшення енергетичного споживання доцільним є використання EDFA на базі фотонно-кристалічних волокон; необхідно застосовувати в GMPLS мережі технологію об'єднання міток, коли коефіцієнт завантаження каналів становить не менше 45 %; рекомендується здійснювати комутацію GMPLS лише часових блоків і хвиль у випадку, коли кількість проміжних вузлів більше семи;

- в результаті проведених досліджень на основі моделі Уотса –Строгатса рекомендовано для побудови фотонної транспортної мережі забезпечувати ступінь зв'язності вузла не менше трьох.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використано в навчальному процесі у викладанні курсів «Направляючі системи електричного та оптичного зв'язку», «Телекомунікаційні системи передачі» і «Телекомунікаційні та інформаційні мережі», здійснено їх впровадження у ТзОВ «Телекомунікаційна компанія», ТзОВ ВТФ «Контех».

Достовірність і обґрунтованість наукових результатів

Обґрунтованість та достовірність результатів, що були отримані автором, підтверджено: науковими працями, які були опубліковані ним у наукових видань за обраним напрямком; матеріалами дисертації, що обговорювалась на міжнародних та всеукраїнських конференціях; актами впровадження.

Оцінка змісту дисертації

Дисертація написана грамотно і науковою мовою, оформлена акуратно і відповідно до встановлених вимог. Текст супроводжується необхідною кількістю таблиць і ілюстрацій. Загальний обсяг роботи становить 387 сторінок, в тому числі: 30 таблиць, 135 рисунків. Наведено коректні посилання на літературні джерела.

Оцінка ідентичності змісту автореферату і основних положень дисертації

Структура автореферату ідентична структурі дисертації. Текст автореферату повною мірою відображає основні положення дисертації.

Повнота публікації

Основні результати представлені в 2 монографіях, 34 статтях, в 40 тезах доповідей і матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Апробація роботи

Теоретичні і практичні результати роботи пройшли достатню апробацію на міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Недоліки і зауваження

1. В роботі використовуються результати максимальних значень електрооптичного ефекту та акустооптичної якості, але не подано методики визначення таких значень.

2. На сьогоднішній день в оптичних транспортних мережах на великих відстанях необхідно використовувати регенератор, дисертант розглянув такий випадок при визначенні енергоефективності мережі, проте при дослідженні мережі з технологією OBS – його не було розглянуто.

3. В першому розділі приведено багато означень і пояснень до оптичної транспортної мережі та фотонної транспортної мережі, які в роботі подальше невикористані.

4. В авторефераті, на відміну від дисертації, мало уваги приділено розглянутому прикладу дослідження фотонної транспортної мережі з перерозподілом навантаження при використанні методу діакоптики.

5. В роботі не представлені результати досліджень протоколів сигналізації TAW та JET, коли завантаженість мережі є меншою 0,8.

6. Доцільно в науковому і практичному значенні отриманих результатів зазначити про сформовану концепцію побудови комутаційних вузлів OBS на основі акустооптичної комірки, що дозволяє комутувати сигнал у двох площинах.

7. В дисертації розглядаються параметри енергоефективності і енергетичного споживання, проте не проведено аналіз доцільності їх використання.

Зазначені зауваження у більшості випадків носять дискусійний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Загальні висновки

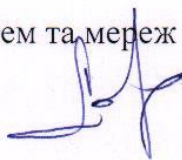
1. Дисертація становить завершену наукову працю, в якій міститься розв'язок важливої наукової проблеми – підвищення ефективності фотонних транспортних мереж із забезпеченням мінімізації енергоспоживання, часових параметрів та ймовірності втрат даних.
2. Дисертація відповідає вимогам паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.
3. Автореферат об'єктивно і з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації.
4. Дисертаційна робота за актуальністю, обґрунтованістю наукових положень, новизною і достовірністю отриманих результатів, їх теоретичною та практичною цінністю відповідає вимогам пп. 9, 10, 13, "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", а її автор – Кайдан Микола Володимирович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,

професор кафедри телекомунікаційних систем та мереж

Державного університету телекомунікацій



О.М. Власов

Підпис Власова О.М. засвідчую

Вчений секретар

Державного університету телекомунікацій



О.В. Попов