

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
ЄВДОКИМЕНКО Марини Олександрівни

«Теоретичні основи відмовостійкої маршрутизації чутливого до затримок та втрат трафіка в телекомунікаційних мережах з використанням тензорних моделей і методів»

на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми, яка полягає в розвитку теорії відмовостійкої маршрутизації чутливого до затримок і втрат трафіку в напрямку забезпечення захисту рівня якості обслуговування як за множиною показників мережної продуктивності, так і за показниками якості сприйняття користувачем.

Під час проведеного дослідження тенденцій розвитку телекомунікацій встановлено: рівень вимог щодо забезпечення якості обслуговування, надійності та відмовостійкості телекомунікаційних мереж (ТКМ) постійно зростає, що потребує залучення до вирішення цієї важливої проблеми всіх доступних організаційних та технічних мережних засобів. Важливе місце серед подібних рішень відводиться протоколам маршрутизації, які мають забезпечувати проактивний та реактивний захист елементів ТКМ. Зі зростанням у сучасному мережному трафіку частки мультимедійних потоків, що досить чутливі до затримок та втрат пакетів, найбільш нагальними стають задачі щодо забезпечення якості обслуговування за множиною показників NP та QoS.

Результати аналізу наявних технологічних рішень та новітніх теоретичних досліджень в області відмовостійких ТКМ продемонстрували, що актуальним напрямом наукових досліджень є розвиток теорії відмовостійкої маршрутизації з розробленням відповідних математичних моделей та методів для забезпечення поряд із локальним/сегментним/глобальним захистом структурних елементів ТКМ (каналу, вузла та маршруту) також захисту рівня якості обслуговування за множиною QoS-показників уздовж основних та резервних шляхів загалом.

Розроблено та досліджено тензорні моделі телекомунікаційних мереж з удосконаленням умов забезпечення якості обслуговування за множиною показників мережної продуктивності та показників, що сприймаються на рівні користувачів.

Саме застосування тензорних методів розрахунку дозволило забезпечити отримання в аналітичному вигляді результатів, які гарантують мінімальний час доставки пакетів в вузловий мережі. Показано, яким чином в ТКМ можуть бути виконані оптимізаційні процедури по найбільш раціональному використанню ресурсів, і одночасно вирішена задача забезпечення параметрів якості обслуговування. Продемонстрована методика рішення мережних завдань дає



можливість застосовувати тензорні методи для вирішення різних телекомунікаційних завдань, в тому числі, рішення задач мережевого управління трафіком.

Проведено розробку та дослідження моделей і методів швидкої перемаршрутизації в телекомунікаційних мережах із захистом рівня якості обслуговування за показниками пропускної здатності, середньої міжкінцевої затримки, ймовірності втрат пакетів та показниками якості обслуговування, що сприймається кінцевими користувачами – **R-фактора та мультимедійної якості**.

Розроблено моделі і методи ієрархічно-координаційної маршрутизації та швидкої перемаршрутизації в мультидоменних телекомунікаційних мережах із забезпеченням якості обслуговування за множиною показників.

Проведено оцінку ефективності запропонованих у дисертації моделей та методів відмовостійкої маршрутизації із захистом рівня якості обслуговування в телекомунікаційних мережах та розроблено систему науково-методичних рекомендацій щодо практичного використання отриманих результатів.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

Високу ступінь обґрунтованості наукових результатів в роботі показано завдяки послідовній викладці результатів досліджень у кожному розділі.

У першому розділі на основі проведеного аналізу встановлено, що відомі протоколи відмовостійкої маршрутизації орієнтовані на застосування в мережах пакетної комутації IP та MPLS із реалізацією схем локального захисту (шлюзу за замовчуванням, каналу або вузла). Підтримка мультисервісності в сучасних ТКМ тісно пов'язана з необхідністю захисту не тільки пропускної здатності, але й множини інших показників мережної продуктивності та QoE.

У другому розділі проведено аналіз та вдосконалення тензорних моделей мультисервісних телекомунікаційних мереж для забезпечення якості обслуговування за множиною показників. Надано опис вдосконалених математичних моделей мультисервісних телекомунікаційних мереж у напрямку отримання умов забезпечення якості обслуговування за множиною показників мережної продуктивності – пропускної здатності, середньої затримки та ймовірності втрат пакетів.

У третьому розділі розглянуто математичні моделі швидкої перемаршрутизації із захистом рівня якості обслуговування за множиною показників мережної продуктивності. У розділі пропонується система математичних моделей швидкої перемаршрутизації в ТКМ із захистом якості обслуговування за множиною показників мережної продуктивності. Залежно від типу контенту, який передається в мережі, захисту підлягатимуть різні комбінації QoS-показників.

У четвертому розділі запропоновано тензорні моделі та методи швидкої перемаршрутизації із захистом рівня якості обслуговування, що сприймається кінцевим користувачем. Розділ присвячено розробленню тензорних моделей маршрутизації та швидкої перемаршрутизації із захистом рівня якості

обслуговування, що сприймається кінцевим користувачем. Актуальність та необхідність такого дослідження ґрунтується на тому, що в структурі сучасного мережного трафіка в ТКМ стрімко зростає доля VoIP-потоків, мультимедійних онлайн-сервісів і додатків.

П'ятий розділі присвячений моделям та методам ієрархічно-координаційної міждоменної маршрутизації у програмно-конфігурованій телекомунікаційній мережі із забезпеченням якості обслуговування. Дієвим напрямком підвищення масштабованості є використання мультидоменних програмно-конфігурованих мереж, коли значний перелік функцій управління трафіком перекладається на множину контролерів мережної операційної системи, які, в свою чергу, вибудовуються в чітку функціональну ієрархію.

В шостому розділі проведено експериментальне дослідження запропонованих маршрутних рішень та розробка науково-методичних рекомендацій щодо їх практичної реалізації. Розглянуто особливості експериментального дослідження тензорних моделей маршрутизації та швидкої перемаршрутизації із забезпеченням якості обслуговування в телекомунікаційних мережах за допомогою Network Simulator 3.

Кожний з розділів містить змістовні висновки і рекомендації.

У додатках надано проміжні результати дослідження запропонованих моделей та методів маршрутизації, надано акти впровадженнь результатів дисертаційної роботи та список публікацій здобувача за темою дисертації.

Достовірність і новизна наукових положень, висновків і рекомендацій.

Метою роботи є полягати в підвищенні рівня якості обслуговування для забезпечення відмовостійкості ТКМ шляхом розроблення нових та вдосконалення наявних моделей і методів відмовостійкої маршрутизації.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій на етапі дослідження характеристик функціонування інформаційно-комунікаційної мережі отримані результати, ґрунтується на реалізації відомих принципів використання фактографічних статистичних методів для визначення станів мережі та каналів зв'язку, на багаторазово апробованих постулатах загальної теорії інтерполяції та екстраполяції, а також методу декомпозиції при дослідженні ймовірно-часових характеристик мереж складної конфігурації. Одночасно достовірність отриманих результатів підтверджуються відомими роботами в цій галузі дослідження телекомунікаційних систем та мереж.

Результати дослідження запропонованих тензорних моделей швидкої перемаршрутизації із захистом рівня якості обслуговування за показниками мережної продуктивності та QoS в ТКМ, представлених у різних геометричних базисах, підтвердили її адекватність. Розбіжність результатів аналітичних розрахунків, отриманих за допомогою середовища MATLAB та імітаційного моделювання з використанням пакетів NS3 та IxChariot, не перевищувала 5–8 %.

На підставі сформульованих завдань в роботі розв'язано ряд наукових під задач, отримано нові наукові результати, серед яких найбільш значущими є:

– Уперше запропоновано систему тензорних моделей маршрутизації та швидкої перемаршрутизації голосового трафіка із забезпеченням якості сприйняття послуг, що надаються кінцевим користувачам у ТКМ за R-фактором, у процесі реалізації схем захисту каналів, вузлів та маршруту (маршрутів). Використання тензорного підходу дозволило забезпечити заданий рівень QoE шляхом контролю за значеннями середньої міжкінцевої затримки та ймовірності втрат пакетів як уздовж основного, так і резервного шляхів мережі.

– Уперше запропоновано систему тензорних моделей маршрутизації та швидкої перемаршрутизації мультимедійного трафіка із забезпеченням якості сприйняття послуг, наданих кінцевим користувачам у телекомунікаційній мережі за показником мультимедійної якості, під час реалізації схем захисту каналів, вузлів і маршруту (маршрутів). Використання тензорного підходу дозволило забезпечити заданий рівень QoE шляхом синхронного контролю в межах однієї мультимедійної сесії значень середньої міжкінцевої затримки та ймовірності втрат для аудіо- та відеопотоків пакетів як уздовж основного, так і резервного шляху (шляхів) у мережі.

– Удосконалено тензорну модель телекомунікаційної мережі, яку представлено в базисі міжполюсних шляхів і внутрішніх вузлових пар. Новизною запропонованого рішення є отримання умов забезпечення якості обслуговування за показниками мережної продуктивності: пропускну здатності, середньої міжкінцевої затримки та ймовірності втрат пакетів, які, на відміну від відомих, є справедливими для різних режимів завантаженості мережі, а не тільки для режиму, близькому до перевантаження, та не потребують задіяння всіх доступних каналів зв'язку та маршрутів ТКМ.

– Удосконалено систему тензорних моделей швидкої перемаршрутизації із захистом рівня якості обслуговування в ТКМ за множиною показників мережної продуктивності. Новизна запропонованих тензорних моделей полягає у формалізації умов забезпечення захисту рівня якості обслуговування за показниками мережної продуктивності: пропускну здатності, середньої міжкінцевої затримки та ймовірності втрат пакетів, що особливо важливо в процесі маршрутизації мультимедійного трафіка.

– Подальшого розвитку набули методи ієрархічно-координаційної маршрутизації в мультидоменних телекомунікаційних мережах. Новизною першого методу є забезпечення нормованої за доменами середньої міжкінцевої затримки пакетів, коли виконання нормованих вимог щодо якості обслуговування забезпечується в кожному домені окремо, а координація маршрутних рішень здійснюється за умовами міждоменної взаємодії. Новизна другого методу полягає в тому, що координація маршрутних рішень здійснюється як за умовами міждоменної взаємодії, так і за умовами забезпечення наскрізної середньої затримки пакетів у ТКМ загалом.

– Отримав подальший розвиток метод ієрархічно-координаційної відмовостійкої маршрутизації в мультидомених телекомунікаційних мережах. Новизною методу є забезпечення захисту рівня якості обслуговування в мультидомених ТКМ за показниками пропускної здатності та середньої міжкінцевої затримки пакетів під час резервування (захисту) міждомених маршрутизаторів у процесі розрахунку основних і резервних шляхів, що дозволило підвищити масштабованість та відмовостійкість маршрутних рішень.

Практична цінність дисертаційної роботи.

Практична цінність роботи полягає у використанні результатів роботи в діяльності підприємства на підприємстві «ХДРНТЦ ТЗІ», у ТОВ «Воркнест» та ПрАТ «Фарлеп-Інвест», а також в навчальному процесі кафедри інфокомунікаційної інженерії ім. В. В. Поповського ХНУРЕ: у лекційному курсі й на практичних заняттях з дисциплін «Маршрутизація в ТКС», «Алгоритми управління та адаптації в ТКС» і «Telecommunication transmission systems», про що свідчить, зокрема, акт впровадження результатів досліджень дисертаційної роботи.

В роботі доведено, що застосування запропонованих рішень дозволяє покращити рівень якості обслуговування в мережі. Отже, практичну цінність наданій дисертаційній роботі додають кількісні оцінки виграш у значеннях середньої міжкінцевої затримки, зокрема, порівняно з рішеннями Traffic Engineering, виграш щодо значень R-фактора залежно від завантаженості мережі.

В дисертації сформульовано рекомендації щодо практичного впровадження отриманих результатів.

Повнота викладення здобувачем основних результатів.

За матеріалами дисертації опубліковано 65 робіт, зокрема, 28 статей: з них 14 – у наукових фахових виданнях України та 14 статей – у закордонних журналах, 13 з яких індексуються наукометричною базою Scopus. Здобуті результати та висновки апробовано на 37 Міжнародних наукових конференціях та форумах, з яких 25 – на конференціях, що проходили під егідою IEEE та індексуються наукометричною базою Scopus

Отже, викладення здобувачем основних результатів дисертації слід вважати повним та таким, що відповідає вимогам до публікацій здобувачів наукового ступеню доктора наук.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації й автореферату.

Обсяг дисертації відповідає вимогам до дисертаційних робіт технічних галузей знань. Дисертаційну роботу написано грамотно, на високому стилістичному рівні. Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Дисертація складається зі вступу, шести розділів і трьох додатків. У роботі 144 рисунки та 36 таблиць. Загальний обсяг роботи становить 476 сторінок, з них 330 сторінок основного тексту, 31 сторінка з рисунками й таблицями, 20 сторінок із анотацією та 34 сторінки з додатками. Список використаних джерел містить 365 найменувань, викладених на 47 сторінках.

Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи, написаний грамотно та з використанням сучасної наукової термінології. Обсяг автореферату – 45 сторінок (без обкладинок). Оформлення дисертаційної роботи та автореферату відповідає вимогам державних стандартів України.

Зауваження до дисертаційної роботи та автореферату.

1. Отримані у роботі наукові результати базуються на типовому для задач маршрутизації припущенні, що пропускні здатності каналів зв'язку наперед відомі та фіксовані. У роботі (розділ 2) не досліджено випадок, коли пропускна здатність, яка виділена тому чи іншому класу потоків пакетів, може в реальному масштабі часу некеровано змінюватись, що особливо характерно при використанні каналів радіозв'язку.

2. У роботі не досліджено (розділ 3), як вплине фактор повторних передач пакетів, передбачений на рівні транспортного протоколу TCP при маршрутизації трафіка даних (підрозділ 3.1), відображеного за допомогою представлених здобувачем моделей, на показники ефективності запропонованих мережних рішень.

3. У дисертації при впровадженні запропонованих моделей та методів не оцінено (переважно розділ 3) зростання об'єму створюваного службового навантаження, пов'язаного із передачею більш деталізованої, а ніж зараз, інформації про стан мережі та маршрутні таблиці.

4. В третьому розділі (приклад, табл. 3.3) не враховано випадки циркуляції незначних за обсягом потоків, для яких потрібно буде на практиці встановлювати та підтримувати окремі шляхи, що може негативно вплинути на масштабованість маршрутних рішень та ТКМ в цілому.

5. Запропоновані у п'ятому розділі моделі та методи маршрутизації засновані на спрощених умовах збереження потоку, які не враховують ймовірне перевантаження буферу черг маршрутизаторів. Тому не оцінено вплив можливих втрат пакетів та викликаних цим змін порядку балансування навантаження на границі мережі на швидкість збіжності методів до оптимальних рішень.

6. В авторефераті (стор.21) у критерії оптимальності маршрутних рішень (39) за логікою повинні фігурувати значення R-фактору, які отримуються при використанні як основних, так і резервних шляхів. Однак в самій формулі (39) двічі зазначено R-фактор, який розрахований для випадку використання основних маршрутів.

7. Стилiстично для тексту дисертації притаманно надання надто громiздких висновкiв до роздiлiв дисертацiї, що заважає акцентованому сприйняттю найбільш суттєвих результатiв дослідження у вiдповiдних роздiлах.

Відповідність дисертації встановленим вимогам.

Отже, дисертаційна робота ЄВДОКИМЕНКО Марини Олександрівни на тему: «ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІДМОВОСТІЙКОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ ЧУТЛИВОГО ДО ЗАТРИМОК ТА ВТРАТ ТРАФІКА В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕНЗОРНИХ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі», містить наукові положення та науково обґрунтовані результати в галузі «технічні науки», а саме – розроблення методів аналізу, синтезу, оптимізації та проектування телекомунікаційних систем і мереж зв'язку з метою підвищення їх технічної й економічної ефективності, а також розроблення ефективних методів розподілу інформації в телекомунікаційних системах і мережах зв'язку, що відповідає п.П.2 та П.3 Паспорту спеціальності 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми, яка полягає в розвитку теорії відмовостійкої маршрутизації чутливого до затримок і втрат трафіку в напрямку забезпечення захисту рівня якості обслуговування як за множиною показників мережної продуктивності, так і за показниками якості сприйняття користувачем.

Загальний висновок

Враховуючи вищевикладене, за актуальністю вирішеної проблеми, обсягом досліджень, науковим рівнем і практичною цінністю отриманих результатів, розглянута дисертаційна робота «ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІДМОВОСТІЙКОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ ЧУТЛИВОГО ДО ЗАТРИМОК ТА ВТРАТ ТРАФІКА В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕНЗОРНИХ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ» повністю відповідає вимогам п.9, 10 «Порядку присудження наукових» щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Це дає підстави вважати, що авторка дисертації ЄВДОКИМЕНКО Марина Олександрівна заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри телекомунікаційних систем
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор

