

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», яка подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність обраного напрямку досліджень

Не дивлячись на постійне вдосконалення технологій проектування та експлуатації комутаційного обладнання, забезпечення відмовостійкості телекомунікаційних мереж (ТКМ) залишається актуальним напрямом прикладних і наукових досліджень. Складність цієї проблеми зумовлюється дуже широкою множиною чинників, які впливають на працездатність мережі – від помилок людини-оператора (адміністратора) та нестабільного енергоживлення, до кібератак та природних катаклізмів. Тому на практиці для підвищення відмовостійкості залучають цілий комплекс технологічних рішень, серед яких важливе місце відводиться протоколам маршрутизації.

За замовчуванням протоколи маршрутизації мають оперативно реагувати на відмови мережного обладнання, змінюючи маршрути передачі пакетів і порядок балансування трафіку вздовж них. Впровадження технологій швидкої перемаршрутизації направлене на підвищення швидкості подібної реакції мережі, щоб час перемикання на використання нового маршруту складав не 30-90 с (як у протоколах RIP та EIGRP), а 40-50 мс. Попереднє обчислення резервних маршрутів, які мають захищати елементи мережі (канали та вузли), значно ускладнює роботу відповідних маршрутних протоколів, оскільки необхідно частіше оновлювати інформацію щодо стану мережі, розраховувати та зберігати більшу кількість маршрутів.

Крім того, необхідність забезпечення захисту пропускнуої здатності



мережі та значень інших показників якості обслуговування вимагає постійного оновлення математичних моделей і методів маршрутизації як основи перспективних маршрутних протоколів. Сучасні телекомунікаційні мережі за визначенням є мультисервісними, тому обов'язковою рисою маршрутних рішень має стати підтримка схем захисту одночасно декількох показників якості обслуговування, перелік яких повністю визначається типом трафіка, для якого розраховуються основні та резервні маршрути. Таким чином, актуальною є науково-прикладна проблема, суть якої полягає в розвитку теорії відмовостійкої маршрутизації чутливого до затримок і втрат трафіка в напрямку забезпечення захисту рівня якості обслуговування за різнорідними показниками – від показників мережної продуктивності до показників якості, що сприймається на рівні кінцевого користувача.

Наукова новизна отриманих у роботі результатів дослідження

Нові наукові результати, які отримані у дисертаційній роботі Євдокименко М.О., можна умовно розділити на такі чотири взаємопов'язані групи:

1. Вдосконалено тензорну модель телекомунікаційної мережі, новизною якої є використання в процесі геометризації її структури базису міжполюсних шляхів і внутрішніх вузлових пар, що дозволило отримати в аналітичному вигляді оновлені умови забезпечення якості обслуговування за множиною показників мережної продуктивності: пропускну здатності, середньої міжкінцевої затримки та ймовірності втрат пакетів. У порівнянні з відомими аналогами запропонована тензорна модель ТКМ значно розширює область застосування отриманих маршрутних рішень.

2. Удосконалено систему тензорних моделей швидкої перемаршрутизації із захистом рівня якості обслуговування в ТКМ за множиною показників мережної продуктивності. Новизна запропонованих моделей полягає в тому, що в залежності від типу трафіка в процесі швидкої перемаршрутизації може забезпечуватись захист двох (для трафіка даних) або трьох (для мультимедійних потоків) показників якості обслуговування з підтримкою резервування структурних елементів мережі – як каналів та вузлів, так і маршрутів загалом.

3. Вперше запропоновано систему тензорних моделей маршрутизації та швидкої перемаршрутизації мультимедійних потоків, які включають у себе голосовий трафік (VoIP) і трафік відеотелефонії. Новизна рішень полягає у забезпеченні захисту рівня якості сприйняття послуг(QoE), що надаються кінцевим користувачам у телекомунікаційній мережі за показниками MoS (MeanOpinionScore): за R-фактором для VoIP-потоків, а також за показником мультимедійної якості для трафіка відеотелефонії. Використання запропонованих тензорних моделей дозволяє забезпечити заданий рівень QoE в умовах реалізації схем захисту каналів, вузлів і маршруту (маршрутів).

4. Отримано подальший розвиток декомпозиційної моделі, методів ієрархічно-координаційної маршрутизації та швидкої перемаршрутизації в мультидоменних ТКМ, метою використання яких є підвищення відмовостійкості та масштабованості маршрутних рішень. Новизною представлених рішень є забезпечення захисту міжкінцевої якості обслуговування за показниками пропускної здатності та середньої затримки пакетів у телекомунікаційній мережі, яка складається з множини послідовно з'єднаних доменів. Це вдалось досягнути, по-перше, на підставі модифікації умов збереження потоку на приграничних маршрутизаторах доменів, по-друге, шляхом введення дворівневої ієрархії маршрутних рішень, коли нижній рівень відповідав за розрахунок внутрішньодоменних маршрутів, а верхній рівень здійснював координацію рішень нижнього рівня для забезпечення зв'язності міждоменних основних і резервних маршрутів, а також міжкінцевої якості обслуговування у ТКМ. Рішення щодо забезпечення наскрізної якості обслуговування охоплювали випадки як з нормуванням QoS-показників за доменами, так і без нормування.

В сукупності, отримані у роботі Євдокименко М.О., тензорні моделі та методи маршрутизації можуть розглядатись як частина теоретичних основ відмовостійкої маршрутизації в телекомунікаційних мережах, які орієнтують на забезпечення захисту рівня якості обслуговування як за множиною показників мережної продуктивності, так і за показниками якості сприйняття користувачем в процесі резервування структурних елементів ТКМ – її каналів, вузлів і

маршрутів.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій. Під час вирішення сформульованої науково-прикладної проблеми здобувачка залучила можливості сучасного математичного апарату – тензорного обчислення та аналізу мереж, теорію графів, теорію ієрархічних багаторівневих систем управління та оптимізаційні методи нелінійного програмування. Висунуті в процесі дослідження наукові гіпотези та припущення було належним чином обґрунтовано та експериментально перевірено. Отримані результати дослідження мали чітку фізичну інтерпретацію, а їхня адекватність підтверджувалася допустимою збіжністю з результатами імітаційного моделювання, виконаного за допомогою пакетів NS3 та IxChariot.

Практична значимість результатів дисертаційної роботи. Проблематика дисертації та результати дослідження відповідають змісту положень «Концепції національної інформаційної політики», «Концепції Національної програми інформатизації», «Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки». Результати дисертаційної роботи використані в науково-дослідних роботах «Підвищення масштабованості технологічних рішень щодо забезпечення якості обслуговування в конвергентних телекомунікаційних системах» (ДР № 0115U002432), «Методи підвищення продуктивності безпроводових мереж наступного покоління» (ДР № 0111U002627), у яких здобувачка була виконавицею.

Результати роботи, які представлені математичними моделями та методами маршрутизації, можуть розглядатись як теоретична основа для нових протоколів відмовостійкої маршрутизації. Судячи зі змісту актів впровадження, отримані результати були використані на підприємстві «ХДРНТЦ ТЗІ», у ТОВ «Воркнест» і ПрАТ «Фарлеп-Інвест», а також у навчальному процесі кафедри інфокомунікаційної інженерії імені В.В. Поповського ХНУРЕ.

Автореферат дисертації загалом відповідає її структурі та змісту.

Основні недоліки по дисертаційній роботі:

1. У другому розділі дисертації в явному вигляді не представлено процедуру (правила) формування матриць координатного перетворення при зміні базисів гілок мережі та її міжполюсних шляхів і вузлових пар. Представлені розрахунки містять лише приклади попередньо сформованих таких матриць.

2. У дисертаційній роботі не зазначається варіант дій, коли не вдасться для всіх потоків забезпечити виконання умов (4.2), (4.13) або (4.46), (4.68). На практиці в умовах браку мережного ресурсу сам додаток може адаптивно знижувати якість відтворення, наприклад, відеоконтенту. Доцільно було б прописати процедуру перегляду рівня вимог щодо R-фактору та показнику мультимедійної якості (*MMq*) в умовах імовірного перевантаження.

3. У роботі математично формалізовано схеми захисту та маршрутні рішення в умовах множинних відмов, коли в різних фрагментах ТКМ можуть одночасно вийти з ладу декілька елементів мережі. Проте дослідженню цих аспектів відмовостійкої маршрутизації уваги приділено недостатньо.

4. При синтезі методів ієрархічної маршрутизації в мультидоменних ТКМ недостатньо обґрунтовано використання принципу цільової координації. В процесі дослідження здобувач довів свою працездатність при розв'язанні задач щодо забезпечення зв'язності міждоменних маршрутів і міжкінцевої якості обслуговування. Однак, можливо, використання інших відомих координаційних принципів (прогнозування або оцінки взаємодій) забезпечило б більш швидку збіжність синтезованих методів ієрархічної маршрутизації до оптимальних рішень.

5. Практично у всіх розділах дисертації сформульовано та розв'язано широкий спектр оптимізаційних задач досить великої розмірності, які зазвичай відносились до класу задач нелінійного програмування. Проте не вказано, які саме методи для розв'язання цих досить складних задач використовувались та чи забезпечувався реальний масштаб часу при отриманні цих обчислювальних рішень, що є важливим фактором у процесі практичної реалізації

запропонованих у роботі оптимізаційних рішень.

Рівень публікацій та апробацій результатів роботи. Здобувачем опубліковано результати дисертаційної роботи у 65 наукових працях. Із них 28 – це статті: 14 статей опубліковано у наукових фахових виданнях України та 14 статей – у закордонних журналах, 13 з яких індексуються наукометричною базою Scopus. Отримані результати доповідались на 37 Міжнародних наукових конференціях і форумах, з яких 25 – на конференціях, праці яких також індексуються наукометричною базою Scopus.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Євдокименко М.О представляє собою закінчене наукове дослідження, в якому вирішено поставлену науково-прикладну проблему та отримано низку важливих нових наукових результатів. За своєю формою, об'ємом та змістом, рівнем наукової новизни та практичної значимості отриманих результатів дисертація відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» та положенням паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Загалом здобувач Євдокименко Марина Олександрівна за рівнем своєї підготовки та кваліфікації заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

Директор Навчально-наукового інституту

інфокомунікацій та програмної інженерії

Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова

доктор технічних наук ,

професор

