

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Євдокименко Марини Олександрівни
на дисертаційну роботу Дреєвої Ганни Миколаївни
*«Моделі та методи аналізу та маршрутизації фракталоподібного трафіку у
комп'ютерних мережах»*, подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія
галузі знань 12 – Інформаційні технології

Актуальність теми дисертації

Важливість проведеного у дисертаційній роботі дослідження впливає з постійного зростання навантаження на сучасні комп'ютерні мережі, яке зумовлене їх важливістю в різних аспектах людської діяльності. Забезпечення високого рівня обслуговування користувачів, навіть під час пікових навантажень, є важливим завданням. Одним з важливих факторів, що впливають на якість обслуговування, є збільшення кількості втрачених IP-пакетів маршрутизаторами при високій інтенсивності трафіку. Тому дисертаційна робота Дреєвої Ганни Миколаївни, що присвячена вирішенню науково-практичної задачі підвищення якості обслуговування у комп'ютерних мережах під час високої інтенсивності мережевого трафіку та пікових навантажень на маршрутизатори шляхом зменшення кількості втрачених мережевих пакетів є актуальною.

У роботі показано, що для вирішення поставленої науково-практичної задачі з підвищення якості обслуговування у комп'ютерних мережах під час пікових навантажень на маршрутизатори доцільно застосувати методи адаптивної маршрутизації трафіку з прогнозуванням завантаженості маршрутизаторів або прогнозуванням ймовірності втрати мережевих пакетів. На основі цього було сформульовано мету роботи та основні задачі дослідження.

Мета дисертаційної роботи була визначена здобувачкою як зменшення ймовірності втрати IP-пакетів при високій інтенсивності трафіку за рахунок розробки і застосування моделей та методів фрактального аналізу і адаптивної маршрутизації трафіку. Для вирішення поставленої мети поставлено наступні задачі дослідження: 1) удосконалити математичну модель мережевого фракталоподібного трафіку та метод генерації трафіку з різними властивостями; 2) розробити метод аналізу мережевого трафіку та визначення його фрактальної розмірності для прогнозування стану маршрутизаторів комп'ютерної мережі; 3) розробити метод програмного імітаційного

моделювання комп'ютерних мереж з фракталоподібним трафіком та різними параметризованими характеристиками моделі комп'ютерної мережі для тестування алгоритмів маршрутизації; 4) удосконалити метод адаптивної маршрутизації, заснований на прогнозуванні ймовірності втрати мережевих пакетів на основі аналізу трафіку, для зменшення кількості втрачених пакетів під час пікових навантажень на комп'ютерну мережу; 5) провести експериментальне дослідження запропонованих методів аналізу та адаптивної маршрутизації трафіку. Ці задачі повністю відповідають сформульованій науково-практичній задачі та поставленій меті роботи.

Основний зміст роботи

У вступі наведено та обґрунтовано актуальність дисертації, визначено мету, об'єкт та предмет дослідження. Сформульовано науково-практичну задачу дисертаційного дослідження, наукові завдання, наведено основні наукові та практичні результати. Відзначено особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертаційної роботи на конференціях, наведено відомості про публікації та структуру роботи.

У першому розділі здобувачем проведено дослідження та порівняльний аналіз моделей та методів роботи комп'ютерних мереж, а також методів аналізу, моделювання, прогнозування та маршрутизації мережевого трафіку. У першому розділі також сформовано цілі та задачі дисертаційного дослідження. Показано, що для вирішення поставленої науково-практичної задачі з підвищення якості обслуговування у комп'ютерних мережах під час високої інтенсивності мережевого трафіку та пікових навантажень на маршрутизатори шляхом зменшення кількості втрачених мережевих пакетів доцільно застосувати методи адаптивної маршрутизації трафіку з прогнозуванням завантаженості маршрутизаторів або прогнозуванням ймовірності втрати мережевих пакетів.

У другому розділі запропоновано удосконалену математичну модель мережевого фракталоподібного трафіку, яка відрізняється від відомих представлень трафіку на рівні "пакет є" – "пакета немає" на вході маршрутизатора та запропонованими ланцюгами Маркова, які описують ймовірності станів генератора трафіку як стохастичного скінченного автомата, що дало змогу одержати рівняння для імітаційного моделювання фрактального та мультифрактального трафіків. Також запропоновано удосконалений метод генерації мережевого фрактального трафіку, який відрізняється від відомих можливістю налаштовувати фрактальну розмірність та інтенсивність трафіку

перед його генерацією, а отже, моделювати різні типи трафіку. Проведено експериментальні дослідження статистичних властивостей генерованих часових рядів на основі запропонованої математичної моделі фракталоподібного трафіку.

У третьому розділі запропоновано метод аналізу мережевого фракталоподібного трафіку, який відрізняється від відомих використанням нової міри визначення фрактальної розмірності бінарного трафіку, що дало змогу зв'язати аналітично його статистичні та фрактальні властивості, підвищити точність визначення фрактальної розмірності та зменшити кількість арифметичних операцій при фрактальному аналізі. Проведено експериментальне дослідження якості роботи запропонованого методу аналізу мережевого трафіку, а саме: здійснено визначення фрактальної розмірності мережевого трафіку за його ймовірнісними властивостями. Також результати якості роботи запропонованого методу було порівняно з отриманими за методом на основі R/S-аналізу.

У четвертому розділі було розроблено метод програмного імітаційного моделювання комп'ютерної мережі на основі теорії складних мереж, який відрізняється від відомих використанням запропонованого методу генерації мережевого фрактального трафіку та параметризацією характеристик моделі, зокрема таких як кількість маршрутизаторів, густина зв'язків між ними, довжина їх черг, пропускна здатність, інтенсивність та фрактальна розмірність трафіку, максимальна кількість вихідних пакетів з одного пристрою в одиницю часу, що дозволило моделювати комп'ютерні мережі різної архітектури для тестування якості роботи алгоритмів маршрутизації. Також було розроблено метод адаптивної маршрутизації трафіку, який відрізняється від відомих використанням додаткової метрики для визначення найкоротших шляхів передачі мережевих пакетів, представленої прогнозованою ймовірністю втрати мережевих пакетів маршрутизатором, яка визначається запропонованим новим методом на основі вимірюваних значень фрактальної розмірності та інтенсивності вхідного трафіку. Це дало змогу підвищити якість обслуговування у комп'ютерній мережі під час пікових навантажень за рахунок зменшення кількості втрачених IP-пакетів.

Наукова новизна дисертаційної роботи

– Удосконалено математичну модель мережевого фракталоподібного трафіку, яка відрізняється від відомих представленням трафіку на рівні “пакет є” – “пакету немає” на вході маршрутизатора та

запропонованими ланцюгами Маркова, які описують ймовірності станів генератора трафіку як стохастичного скінченного автомата, що дозволило одержати рівняння для імітаційного моделювання фрактального та мультифрактального трафіку. На основі запропонованої математичної моделі розроблено метод генерації мережевого фрактального трафіку, який відрізняється від відомих можливістю налаштовувати фрактальну розмірність та інтенсивність трафіку перед його генерацією, а отже, моделювати різні типи трафіку.

– *Вперше розроблено метод аналізу мережевого фракталоподібного трафіку, який відрізняється від відомих використанням нової міри визначення фрактальної розмірності бінарного трафіку, що дозволило зв'язати аналітично його статистичні та фрактальні властивості, підвищити точність визначення фрактальної розмірності та зменшити кількість арифметичних операцій при фрактальному аналізі.*

– *Набув подальшого розвитку метод програмного імітаційного моделювання комп'ютерної мережі на основі теорії складних мереж, який відрізняється від відомих використанням запропонованого методу генерації мережевого фрактального трафіку та параметризацією характеристик моделі, зокрема таких як кількість маршрутизаторів, густина зв'язків між ними, довжина їх черг, пропускна здатність, інтенсивність та фрактальна розмірність трафіку, максимальна кількість вихідних пакетів із одного пристрою в одиницю часу, що дозволило моделювати комп'ютерні мережі різної архітектури для тестування якості роботи алгоритмів маршрутизації.*

– *Удосконалено метод адаптивної маршрутизації трафіку, який відрізняється від відомих використанням додаткової метрики для визначення найкоротших шляхів передачі мережевих пакетів, представленої прогнозованою ймовірністю втрати мережевих пакетів маршрутизатором, яка визначається запропонованим новим методом на основі вимірюваних значень фрактальної розмірності та інтенсивності вхідного трафіку, що дозволило підвищити якість обслуговування у комп'ютерній мережі під час пікових навантажень за рахунок зменшення кількості втрачених IP-пакетів.*

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, та їх достовірність

Обґрунтованість та достовірність отриманих наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечується аргументованими результатами досліджень та співставленням з результатами імітаційного моделювання.

Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення отриманих результатів підтверджено відповідними актами впровадження. Результати дисертаційних досліджень впроваджені і використовуються у діяльності Інтернет-сервіс провайдера ТОВ «Імперіал-Нет», а також використано у навчальному процесі Центральноукраїнського національного технічного університету.

Практична цінність роботи полягає у такому:

- Розроблено алгоритми моделювання структури комп'ютерної мережі та генерації фрактального мережевого трафіку, що дають можливість моделювати комп'ютерні мережі різної архітектури для тестування якості роботи алгоритмів маршрутизації.

- Розроблено алгоритми для аналізу фрактальних властивостей трафіку та алгоритми для прогнозування ймовірності втрати мережевих пакетів маршрутизатором на основі статистичних та фрактальних властивостей вхідного трафіку, що дають змогу удосконалювати алгоритми маршрутизації. Запропонований метод аналізу мережевого фракталоподібного трафіку з більшою точністю та однозначністю результатів визначає фрактальну розмірність трафіку незалежно від довжини досліджуваного ряду, на відміну від відомого методу на основі R/S-аналізу, а також має меншу кількість арифметичних операцій. Зокрема, запропонований метод дає менший відсоток відхилення від середнього значення показника Херста, а саме: 1,8% на відміну від 2,5% для R/S-аналізу.

- Розроблено алгоритм адаптивної маршрутизації трафіку з застосуванням додаткової метрики для визначення найкоротших шляхів передачі мережевих пакетів, представленої прогнозованою ймовірністю втрати мережевого пакету маршрутизатором, яка визначається новим методом на основі вимірюваних значень фрактальної розмірності та інтенсивності вхідного трафіку. Запропонований удосконалений метод адаптивної маршрутизації дає змогу зменшувати кількість втрачених мережевих пакетів під час високої інтенсивності трафіку, зокрема при інтенсивності 0,8 в середньому на 23% для персистентного трафіку, на 17% – для випадкового трафіку та на 1,5% – для антиперсистентного трафіку; конкретні значення покращень залежать від параметрів мережі.

Апробація результатів дисертації

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на таких наукових конференціях та семінарах: закордонній I Міжнародній науково-практичній конференції «Modern Information, Measurement And Control Systems: Problems And Perspectives» (Азербайджан, Баку, 2019); 12-й Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Азербайджан – Україна – Словаччина, Баку-Харків-Жиліна, 2022); Міжнародній науковій конференції «Інформація. Комунікація. Суспільство» (Україна, Львів, 2018, 2020, 2021); Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційна безпека та інформаційні технології» (Україна, Харків, 2019, 2020); XXVII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. MicroCAD-2019» (Україна, Харків, 2019); Міжнародній науковій конференції «Безпека в сучасному світі» (Україна, Дніпро, 2019); XXII Міжнародному науково-практичному семінарі «Комбінаторні конфігурації та їх застосування» імені А. Я. Петренюка (Україна, Запоріжжя – Кропивницький, 2020); X Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (Україна, Чернігів, 2020); Міжнародній науково-практичній конференції «Цифрова трансформація суспільства» (Україна, Кропивницький, 2022); Міжнародній науково-технічній конференції «Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві» (Україна, Кропивницький, 2022); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій» (Україна, Черкаси, 2022).

Публікації за результатами дисертаційних досліджень

Основні положення дисертації опубліковано в 28 наукових працях, у тому числі: 11 наукових статей, з яких 4 входить до бази даних Scopus, 7 – у вітчизняних фахових наукових журналах, 2 монографії та 15 матеріалів і тез доповідей на конференціях.

Зауваження до дисертаційної роботи

При дослідженні дисертаційної роботи виникли наступні зауваження:

1. Робота направлена на вдосконалення моделей та методів аналізу та маршрутизації трафіку при пікових навантаженнях на комп'ютерну мережу,

при цьому мало досліджено роботу самої мережі та покращення її функціонування у штатних режимах роботи.

2. У вступі у використаних методах дослідження зазначено, що для аналізу та генерації мережевого трафіку використано теорію фрактального аналізу та синтезу. Але далі в тексті роботи використовується тільки термін фрактальний аналіз. Таким чином не розкрито, у чому полягає термін «фрактальний синтез» та яким чином він використовується у роботі.

3. У роботі було запропоновано нову міру визначення фрактальної розмірності трафіку, що лягла в основу розробленого нового методу аналізу мережевого фракталоподібного трафіку. При цьому при дослідженні існуючих мір фрактальної розмірності часових рядів розглянуто тільки розмірність Мінковського. Вважаю таке дослідження не повним, слід було розглянути й інші міри фрактальної розмірності та порівняти їх між собою та з запропонованою мірою.

4. У вдосконаленому методі адаптивної маршрутизації трафіку як додаткову міру для визначення найкоротших шляхів передачі ІР-пакетів використано прогнозовану ймовірність втрати пакетів маршрутизатором. Але не обгрунтовано, чому обрано саме прогнозовану, а не поточну ймовірність? І на який проміжок часу поширюється прогноз? Наскільки такий прогноз актуальний?

5. У розділах 2.4 та 2.6 змінна λ використовується для моделі генератора трафіку як ймовірність змінити стан на протилежний $\lambda = p_{01} = p_{10}$, а у розділі 3.2 як ймовірність збереження стану $\lambda = p_{00} = p_{11}$. Вважаю, що такі позначення заплутують та слід було використати різні літери у цих випадках.

6. Виникає питання, чому у запропонованій програмній моделі комп'ютерної мережі розглядається деяка загальна інтенсивність трафіку та деяка загальна фрактальна розмірність? Можливо було б доцільніше розглядати різну інтенсивність та різну фрактальну розмірність від різних джерел трафіку у мережі?

7. У роботі, на жаль, відсутні рекомендації щодо апаратних вимог до обладнання, на якому можуть бути розгорнуті розроблені автором алгоритми. Це не дає змоги чітко окреслити всі потенційні області застосування.

Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки

Зазначені недоліки до дисертаційної роботи не впливають на загальне позитивне враження від проведеного наукового дослідження, не зменшують якість та наукову цінність роботи.

Дисертаційна робота «Моделі та методи аналізу та маршрутизації фракталоподібного трафіку у комп'ютерних мережах» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують поставлену наукову задачу підвищення якості обслуговування у комп'ютерних мережах під час високої інтенсивності мережевого трафіку та пікових навантажень на маршрутизатори шляхом зменшення кількості втрачених мережевих пакетів. Дисертація відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор Дресєва Г.М. – заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інфокомунікаційної
інженерії імені В.В. Поповського
Харківського національного
університету радіоелектроніки



Марина ЄВДОКИМЕНКО

Підпис професора Євдокименко М.О. засвідчую

