

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора

Палагіна Володимира Васильовича

на дисертацію *Дреєвої Ганни Миколаївни*

**за темою «Моделі та методи аналізу та маршрутизації
фракталоподібного трафіку у комп'ютерних мережах»,**

яку подано на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

галузь знань 12 Інформаційні технології

1. Актуальність теми дослідження.

Чим більшими та складнішими стають комп'ютерні мережі, тим більше вимог висувається до алгоритмів маршрутизації для того, щоб вони могли забезпечити потрібну якість обслуговування. Актуальним є підвищення якості обслуговування користувачів у комп'ютерних мережах при високих інтенсивностях вхідного трафіку та перевантаженнях мережевих пристроїв, а не тільки при їх штатних режимах роботи. Для підвищення якості обслуговування під час пікових навантажень у комп'ютерних мережах здобувачкою було вирішено зменшувати кількість втрачених мережевих пакетів, а для цього уникати переповнень черг маршрутизаторів. Таке рішення достатньо обґрунтовано у роботі.

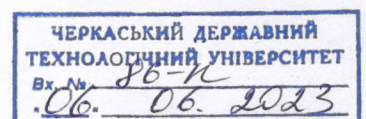
Тому важливою науково-практичною задачею, яка вирішується у цій роботі, є підвищення якості обслуговування у комп'ютерних мережах під час високої інтенсивності мережевого трафіку та пікових навантажень на маршрутизатори шляхом зменшення кількості втрачених мережевих пакетів.

2. Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у наступному:

– 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.

3. Практичне значення одержаних результатів.

– 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. При надвеликих навантаженнях на комп'ютерну мережу ефект покращення зникає, тому що, коли усі маршрутизатори перевантажені, вичерпується ресурс для адаптивної маршрутизації, адже немає куди перенаправляти IP-пакети, усі черги зайняті.

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.

4. Структура роботи, оцінка змісту дисертації та її завершеність.

Дисертація складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури після кожного розділу та додатків, і містить 187 основного тексту та 11 сторінок додатків, загальний обсяг роботи 197 сторінок.

Анотація до роботи містить актуальність дослідження, поставлену науково-практичну задачу та основні наукові і практичні результати, зазначено також, які теоретичні дослідження та експерименти були проведені.

Вступ до дисертації містить обґрунтування актуальності та наукової новизни дисертаційного дослідження. У ньому сформульовано задачу та мету дослідження, часткові задачі, які треба вирішити для досягнення поставленої мети, об'єкт, предмет дослідження та наведені використані методи дослідження. Також проаналізовано існуючий стан досліджень у рамках обраної теми, внесок зарубіжних та вітчизняних вчених.

У першому розділі дисертації 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.

Висновки містять основні наукові та практичні результати отримані у роботі та відповідають заявленій меті і науковій задачі дослідження.

Дисертаційна робота представляє собою завершену наукову працю, мета та поставлені задачі дослідження повністю виконані.

5. Відсутність (наявність) порушень принципів академічної доброчесності.

Ознак порушень принципів академічної доброчесності не встановлено.

6. Повнота викладення дисертації в опублікованих працях.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, відображено у 28 наукових працях, представлених 7 науковими статтями, що опубліковані в фахових виданнях України, 4 науковими працями, які включені до наукометричної бази Scopus, 2 розділами у колективних монографіях, 15 тезами міжнародних науково-технічних конференцій.

Вважаю, рівень та кількість наукових публікацій здобувача цілком достатнім.

7. Зауваження та недоліки дисертації щодо її оформлення і змісту.

Варто відзначити деякі недоліки дисертаційної роботи:

1. При дослідженні адаптивних методів маршрутизації головна увага була приділена методу OSPF, хоча, вважаю, доцільним було б здійснити детальний розгляд та порівняння декількох найвідоміших методів.

2. Пункт 1.4 «Дослідження методів аналізу фракталоподібного трафіку» не достатньо розгорнутий і містить всього дві сторінки. Вважаю, що це дослідження можна було б представити більш розгорнуто та проілюстровати порівняльними таблицями.

3. Не достатньо обґрунтовано, чому трафік представлено на рівні «пакет є» – «пакету немає» і які саме проміжки часу брати в реальних системах для фіксації факту наявності або відсутності мережевого пакету.

4. В пункті 2.6. «Аналітичне дослідження фрактальних властивостей ряду, який отримано генератором на стохастичному скінченному автоматі», вважаю за доцільне порівняти запропонований метод з відомими.

5. В кінці третього розділу було проведено експериментальне дослідження залежності фрактальної розмірності числового ряду від обраного масштабу, але не надано достатніх пояснень щодо мети та висновків з даних експериментів. А також не зрозуміло, як це дослідження загалом вплинуло на хід розробки запропонованих моделей та методів.

На мою думку, незважаючи на вказані недоліки, дана дисертаційна робота є важливим науковим дослідженням та заслуговує на позитивну оцінку.

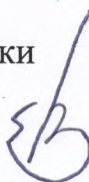
8. Висновок щодо відповідності дисертації вимогам, які висуваються до ступеня доктора філософії.

Розглянуте дисертаційне дослідження здобувача Дреєвої Г.М. на тему «Моделі та методи аналізу та маршрутизації фракталоподібного трафіку у комп'ютерних мережах» цілком відповідає вимогам до дисертаційного дослідження на здобуття ступеня доктора філософії, наведеним у Постанові Кабінету Міністрів України №44 від 12.01.22 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про

присудження ступеня доктора філософії». Дисертація може бути представлена для офіційного захисту в разовій спеціалізованій вченій раді. Автор дисертації, Дреєва Г.М., заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія галузі знань 12 Інформаційні технології.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Завідувач кафедри робототехнічних
і телекомунікаційних систем та кібербезпеки
Черкаського державного технологічного
університету, д.т.н., професор



Володимир ПАЛАГІН

Учений секретар
Черкаського державного
технологічного університету



Ірина МИРОНЕЦЬ