

МОДЕЛЬ МАСШТАБУВАННЯ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА УМОВ САМОПОДІБНОГО ТРАФІКУ

Компанієць В.О., Клавдієв В.П., Воронець О.М., Пустовойтов П.Є.

Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут", Україна

E-mail: Volodymyr.Kompaniets@khpi.edu.ua

SCALING NETWORK MODEL BASED ON STOCHASTIC PROCESSES UNDER SELF-SIMILAR TRAFFIC CONDITIONS

A comparison of Poisson and fractal approaches to network traffic modeling is presented. It is proven that the use of stochastic processes in load forecasting allows minimizing delays and avoiding excessive resource consumption. A model is presented that provides adaptive management of network resources, creating a balance between performance and efficiency, as well as taking into account stochastic traffic characteristics.

Масштабування мереж є критичним завданням у сучасних інформаційно-комунікаційних системах, оскільки збільшення кількості користувачів та обсягів трафіку призводить до зростання навантаження на мережеву інфраструктуру.

У роботі [1] запропоновано новий метод математичного моделювання самоподібного трафіку в інфокомунікаційних мережах, який дозволяє генерувати потоки пакетів із заданим ступенем самоподібності. Цей підхід базується на використанні розподілу Парето та методу максимальної правдоподібності для оцінки параметрів моделі.

Дослідження [2] обґрунтовує методику структурно-параметричної ідентифікації та прогнозування самоподібного трафіку, що включає композицію методів глобальної та локальної оптимізації, а також вибір блочно-орієнтованих структур моделей.

Традиційні методи масштабування мереж часто не враховують динамічну природу сучасного трафіку, що може призводити до неефективного використання ресурсів. У дослідженні [3-4] розглянуто сучасні тенденції застосування технологій штучного інтелекту та машинного навчання для управління телекомунікаційними мережами та послугами. Автори акцентують увагу на використанні AI/ML (штучний інтелект/машинне навчання) для автоматизації обробки ресурсів та ізоляції між логічними та фізичними ресурсами, що є фундаментальним для мереж 5G.

Стохастичні процеси є потужним інструментом для моделювання непередбачуваних змін у мережевому трафіку та оптимізації розподілу ресурсів. У роботі [5] розглянуто застосування стохастичних методів для ефективного перерозподілу обчислювальних та мережевих ресурсів з мінімальними затримками.

Масштабування мережі в умовах самоподібного трафіку є складним завданням, оскільки традиційні моделі керування ресурсами не враховують

довготривалу залежність і високу варіативність мережевого навантаження. Самоподібний трафік проявляє властивості фрактальності та важко прогнозованих сплесків навантаження, що ускладнює розподіл ресурсів у мережах. Для ефективного масштабування необхідно використовувати математичні методи, здатні апроксимувати складні процеси та передбачати їх динаміку. У цьому контексті марківська апроксимація є перспективним підходом, що дозволяє спростити модель самоподібного трафіку, наближаючи її до керованих стохастичних систем.

Марківські випадкові процеси можуть бути використані для моделювання навантаження в мережі, оскільки вони добре підходять для опису систем із залежностями короткої пам'яті. Хоча самоподібний трафік має довготривалі кореляції, його можна апроксимувати через багаторівневі марківські моделі, що дозволяє описати зміну станів навантаження у спрощеній формі. Наприклад, можна застосувати Марківський процес із прихованими станами (H/M/M) або Марківські моделі черг (M/G/1, M/M/∞) для оцінки поведінки трафіку та адаптивного перерозподілу мережевих ресурсів. Ці позначення відносяться до систем масового обслуговування, описуваних за допомогою нотації Кендалла (A/B/C).

В даній доповіді досліджується моделювання процесу, функціонування хмарної платформи для потокового відео, яка адаптивно розподіляє ресурси відповідно до кількості активних користувачів. Протягом доби трафік зазнає значних коливань: вранці навантаження мінімальне, увечері – досягає пікового значення, а впродовж дня можливі раптові сплески активності. Система повинна автоматично масштабувати обчислювальні ресурси, щоб запобігти перевантаженню та оптимізувати витрати.

Для моделювання цього процесу використовується рівняння динамічного балансування ресурсів (1), традиційно в марківських процесах λ позначають інтенсивність вхідного потоку. Водночас середня інтенсивність запитів описується функцією:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + A \sin(\omega t) + \eta(t), \quad (1)$$

де λ_0 – базова кількість запитів, A – амплітуда добових коливань, ω – частота змін, а $\eta(t)$ – стохастичний процес, що імітує випадкові стрибки трафіку.

Застосування рівняння динамічного балансування дозволяє хмарній платформі в реальному часі адаптуватися до змінного навантаження, уникаючи простоїв та перевитрат ресурсів.

Пуассонівський процес характеризується випадковими різкими сплесками навантаження, що призводить до частих і раптових змін у необхідності масштабування серверів. Натомість фрактальний процес демонструє довготривалу кореляцію, що забезпечує більш плавні зміни трафіку та стабільніше використання ресурсів.

Результати (рис. 1) вказують на важливість урахування самоподібності трафіку при проектуванні масштабованих мережевих систем. Впровадження адаптивних алгоритмів, що базуються на аналізі фрактальних процесів,

дозволяє знизити витрати на інфраструктуру та підвищити ефективність розподілу ресурсів у динамічних середовищах.

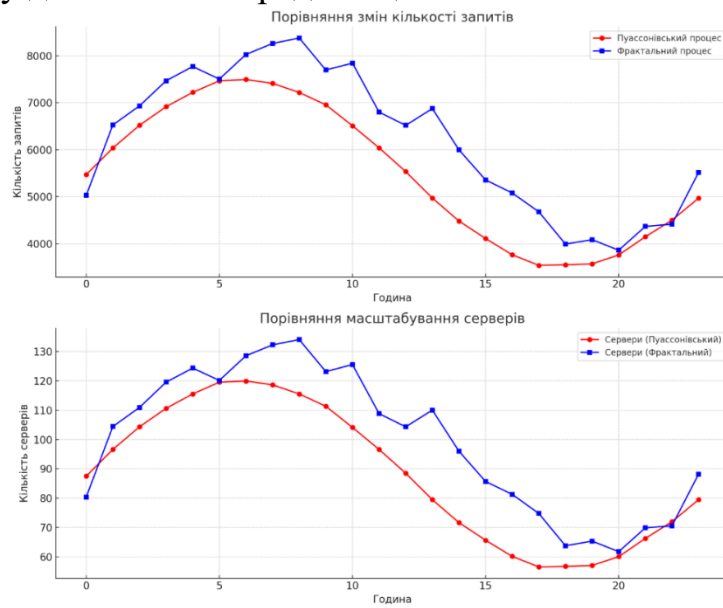


Рис.1. Масштабування ресурсів мережі при динамічній зміні навантаження.

Рівняння динамічного балансування ресурсів має широке практичне застосування в сучасних мережевих технологіях. Однією з ключових сфер його використання є програмно-конфігуровані мережі (SDN). У таких мережах контролери SDN можуть застосовувати це рівняння для динамічного перерозподілу ресурсів, реагуючи на зміни навантаження в режимі реального часу. Це дозволяє покращити ефективність використання мережевої інфраструктури та підвищити рівень якості обслуговування (QoS). Наведено, що модель забезпечує адаптивне керування мережевими ресурсами, створюючи баланс між продуктивністю та ефективністю, а також враховуючи стохастичні характеристики трафіку. Це дозволяє досягти оптимального використання інфраструктури в умовах динамічних змін навантаження.

Література

1. Пустовойтов П.Є., Компанієць В.О. Метод математичного моделювання самоподібного трафіку у інфокомунікаційних мережах // Системи управління, навігації та зв'язку, Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2024. – Т. 4 (78). – С. 187-189.
2. В.Корнієнко, О.Герасіна. Ідентифікація та прогнозування самоподібного трафіку інформаційно-комунікаційних мереж для систем виявлення атак // Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security, – Дніпро, № 1 (2022). С. 20-29.
3. М. Васильківський, О. Болдирєва, Г. Варгатюк, М. Будаш // Керування телекомунікаційними мережами з використанням технологій AI/ML. Видавництво "Телекомунікації та Інтернет-технології". – Хмельницький: ХНУ, 2021 (1). – С. 89-100.
4. Rozlomii, I. O. And Yarmilko, A. V. And Naumenko, S. V. (2022) The methods and means to improve the intelligent systems communication component's efficiency. Artificial Intelligence, vol.27 (№ 2). pp. 71-76.
5. Fontaine, X., & Smith, J. (2020). *Title of the Paper*. Proceedings of Machine Learning Research, 117, 1-10. Retrieved from <https://proceedings.mlr.press/v117/fontaine20a/fontaine20a.pdf>.