

ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто підходи до прогнозування та оптимізації інформаційного навантаження в телекомунікаційних мережах нового покоління. Показано, що зростання обсягів і різноманітності трафіку у гетерогенних системах ускладнює управління ресурсами та забезпечення необхідного рівня якості обслуговування (QoS). Для підвищення ефективності функціонування мереж запропоновано застосування гібридних моделей прогнозування, які поєднують статистичні (ARIMA, GARCH) та інтелектуальні (LSTM, DNN) підходи. Проведено аналіз коротко- та довгострокових методів прогнозування, а також оцінено вплив самоподібності й мультифрактальності трафіку на точність передбачення. Результати моделювання показали, що комбіновані моделі дозволяють знизити середньоквадратичну похибку прогнозу на 10–15 % порівняно з традиційними статистичними підходами. Запропоновані методи можуть бути використані для інтелектуального управління ресурсами, балансування навантаження та підвищення стабільності роботи мереж 5G і 6G.

Ключові слова: прогнозування трафіку, гібридна модель, гетерогенна мережа, оптимізація ресурсів.

Abstract

The paper considers approaches to forecasting and optimizing information load in next-generation telecommunication networks. It is shown that the increasing volume and heterogeneity of traffic in heterogeneous systems complicate resource management and the provision of the required Quality of Service (QoS) level. To enhance network performance efficiency, the use of hybrid forecasting models combining statistical (ARIMA, GARCH) and intelligent (LSTM, DNN) approaches is proposed. Short-term and long-term forecasting methods are analyzed, and the influence of traffic self-similarity and multifractality on prediction accuracy is evaluated. The modeling results demonstrate that combined models can reduce the mean square forecasting error by 10–15% compared to traditional statistical approaches. The proposed methods can be applied for intelligent resource management, load balancing, and improving the operational stability of 5G and 6G networks.

Keywords: traffic forecasting, hybrid model, heterogeneous network, resource optimization.

Вступ

Сучасні телекомунікаційні системи характеризуються високим рівнем гетерогенності, динамічністю та зростанням обсягів різноманітного інформаційного трафіку. Це ускладнює процеси його оброблення, маршрутизації та управління, що, у свою чергу, створює додаткові виклики щодо забезпечення необхідної якості обслуговування (QoS) в умовах інтенсивного інформаційного навантаження. Ефективне прогнозування динаміки трафіку є ключовим чинником для оптимізації розподілу ресурсів, балансування навантаження та запобігання перевантаженням у телекомунікаційних мережах [1].

Складність моделювання полягає у необхідності врахування коротко- та довгострокових залежностей, самоподібності та мультифрактальних властивостей трафіку, притаманних сучасним інфокомунікаційним системам. Зменшення похибки прогнозу безпосередньо впливає на стабільність роботи мережі та ефективність використання її ресурсів [2].

Серед сучасних підходів до прогнозування мережевого трафіку особливу увагу приділено методам, заснованим на штучних нейронних мережах, зокрема архітектурам LSTM, які здатні ефективно відтворювати часові залежності. Водночас у сценаріях з обмеженими обчислюваль-

ними ресурсами, таких як середовища Mobile Edge Computing (MEC), доцільним є застосування статистичних або гібридних моделей — ARIMA, ARIMA–GARCH, що забезпечують високу точність короткострокового прогнозу при мінімальних обчислювальних витратах [3].

Актуальність дослідження зумовлена потребою у створенні гібридних моделей прогнозування інформаційного навантаження, що поєднують статистичні та інтелектуальні підходи. Це дозволить підвищити точність оцінювання майбутніх станів мережі, забезпечити адаптивне управління ресурсами та підвищити якість обслуговування користувачів у мережах 5G і 6G.

Результати дослідження

У результаті проведеного аналізу методів прогнозування мережевого трафіку встановлено, що ефективне управління ресурсами гетерогенних мереж потребує використання адаптивних моделей, здатних враховувати нелінійність, самоподібність і стохастичний характер трафіку. Порівняльна оцінка показала, що класичні статистичні моделі (ARIMA, SARIMA, FARIMA) забезпечують високу точність короткострокових прогнозів за умови стаціонарності даних, тоді як нейромережеві підходи (DNN, LSTM, GNN) демонструють кращі результати для складних, динамічних і багатовимірних мережевих сценаріїв [4].

Результати моделювання підтвердили, що комбіновані (гібридні) методи, зокрема ARIMA/GARCH або ARIMA-LSTM, здатні істотно підвищити точність прогнозу завдяки одночасному урахуванню трендів, сезонності та змінної дисперсії трафіку. Для задач короткострокового прогнозування у реальному часі найбільш доцільним є використання статистичних моделей, тоді як для довгострокового планування навантаження, оптимізації пропускну здатності та адаптивного розподілу ресурсів доцільно застосовувати моделі машинного навчання [5].

Проведений аналіз підтвердив, що властивість самоподібності мережевого трафіку суттєво впливає на точність прогнозування. Для її урахування доцільно використовувати моделі з авторегресійною умовною гетероскедастичністю (GARCH) або їх модифікації, здатні моделювати змінну дисперсію й «сплески» трафіку. Крім того, моделі, що базуються на рекурентних нейронних мережах (RNN, LSTM), виявилися ефективними для відображення довготривалих часових залежностей у гетерогенних мережах [6].

Запропонований ітеративний підхід до побудови прогнозних моделей, який включає етапи ідентифікації, оцінювання параметрів і валідації, забезпечує системне формування моделей для різних типів даних і дозволяє оптимізувати процес навчання. Експериментальні результати засвідчили, що використання поєднання методів машинного навчання та статистичного аналізу знижує середньоквадратичну похибку прогнозу (MSE) на 10–15 % порівняно з традиційними параметричними моделями [7].

Отримані результати можуть бути використані при розробленні інтелектуальних систем управління ресурсами у гетерогенних телекомунікаційних мережах, системах MEC та 5G/6G-інфраструктурах для забезпечення стабільності роботи мережі, зниження затримок і підвищення рівня якості обслуговування (QoS).

Висновки

Проведений аналіз сучасних досліджень показав, що зростання обсягів та різноманітності інформаційного трафіку в гетерогенних телекомунікаційних мережах ускладнює процеси управління ресурсами й забезпечення якості обслуговування (QoS). Для підвищення ефективності функціонування мереж необхідне впровадження методів прогнозування динаміки трафіку.

Встановлено, що моделі на основі часових рядів є ефективним інструментом для аналізу й передбачення поведінки трафіку, однак потребують урахування його нестаціонарності, багатокомпонентності та випадкових коливань. Аналіз часових рядів дозволяє виявляти тренди, сезонні коливання та випадкові відхилення, що є основою для прийняття рішень щодо управління мережею.

Показано, що для короткострокового прогнозування доцільно застосовувати статистичні моделі, зокрема ARIMA, які характеризуються невисокими обчислювальними витратами та придатністю для реалізації в режимі реального часу. Для довгострокових прогнозів більш ефективними є структурні та інтелектуальні моделі, що здатні враховувати складні часові залежності.

Визначено, що самоподібність і мультифрактальність є характерними властивостями сучасного мережевого трафіку. Тому при побудові моделей прогнозування необхідно враховувати як короткострокові, так і довгострокові часові залежності, що забезпечує більш точне відтворення динаміки мережевого навантаження.

Запропоновано використання ітераційного підходу до побудови прогнозних моделей, який дозволяє послідовно вдосконалювати структуру моделі, підвищуючи точність відображення часових залежностей у даних.

Проаналізовано застосування штучних нейронних мереж для прогнозування мережевого трафіку. Показано, що рекурентні нейронні мережі (RNN) і, особливо, їх модифікації типу LSTM ефективно моделюють часові залежності та забезпечують високу точність прогнозу для динамічних і нелінійних процесів у телекомунікаційних системах.

Узагальнено переваги та недоліки існуючих підходів. Статистичні моделі забезпечують простоту реалізації та швидкість обчислень, тоді як нейромережеві — вищу точність і адаптивність до складних залежностей. Поєднання цих підходів у гібридних моделях є перспективним напрямом підвищення ефективності прогнозування та оптимізації інформаційного навантаження в мережах 5G і 6G.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Rukkas, K., Morozova, A., Uzlov, D., Kuznietcova, V., & Chumachenko, D. (2024). "Optimizing information support technology for network control: a probabilistic-time graph approach". *Radioelectronic and Computer Systems*.
2. Dobruna, J., Limani Fazliu, Z., Humar, I., & Volk, M. (2025). "On Optimizing Resource Allocation: A Comparative Review of Resource Allocation Strategies in HetNets". *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 142(3).
3. Trofymchuk, V. (2025). "Development of a Mathematical Model to Improve the Efficiency of Telecommunication Networks". *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 4(2), 26-38.
4. "Algorithms for Load Balancing in Next-Generation Mobile Networks: A Systematic Literature Review". Ochoa-Aldeán, J., Silva-Cárdenas, C., Torres, R., González, J. I., & Fortes, S. (2025).
5. Zhang, Y., Ding, F., Liu, F., Jiang, S., & Wu, W. (2025). "Incorporated flexible load forecasting based on non-intrusive load monitoring: a TCN-based meta learning approach". *Frontiers in Energy Research*
6. Васильківський М. В. Керування телекомунікаційними мережами з використанням технологій AI/ML [Текст] / М. В. Васильківський, О. Болдирева, Г. Варгатюк, М. Будаш // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2023. – Вип. 1. – С. 89–100.
7. Васильківський М. В. Коригування параметрів мобільних систем МІМО із використанням штучного інтелекту [Текст] / М. Васильківський, О. Болдирева, Г. Варгатюк, Н. Грабчак // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2023. – № 51. – С. 139-147.

Васильківський Микола Володимирович — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Олійник Андрій Олегович — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: w0lfend00@gmail.com

Вальдшмідт Володимир Олександрович — студент групи TCM-24м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Vladimirvaldsmidt@gmail.com

Vasylkivskyi Mykola V. — candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

Oliinyk Andrii O. — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: w0lfend00@gmail.com

Valdshmidt Volodymyr O. - student of group TSN-24m, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Vladimirvaldsmidt@gmail.com