

Прогнозування часу доставки даних в ІТС залізничного транспорту з використанням нейронечіткої технології

Вікторія Пахомова

*Кафедра електронних обчислювальних машин
Український державний університет науки і технологій
Дніпро, Україна*

Анотація—Запропонована модифікація структури інтегрованої системи маршрутизації в інформаційно-телекомунікаційної системи (ІТС) залізничного транспорту, основу якої складають нейронечіткі мережі (ННМ), додаванням ННМ0 (для прогнозування затримки на маршрутизаторі), на вхід якої подаються затримки за попередні п'ять часових проміжків, та ускладненням ННМ1 (для прогнозування часу доставки даних за маршрутом), на вхід якої подаються наступні параметри: кількість проміжних маршрутизаторів, що складають маршрут (10 терм); інтенсивність трафіка (3 терми); сумарна затримка на маршрутизаторах (3 терми); довжина пакета (3 терми). Відповідні вибірки сформовані на основі створеної в Opnet Modeler імітаційної моделі мережі розглянутого фрагменту ІТС залізничного транспорту, для якого здійснений прогноз часу доставки даних за двома маршрутами його проходження (найдовшого та найкоротшого) на основі ННМ0 та ННМ1 конфігурацій 5-10-32-32-1 та 4-19-30-30-1 відповідно, що створені в MatLAB. Проведено дослідження похибки ННМ1 при різних функціях належності та за різними методами оптимізації навчання. Виявлено, що найменше значення середньої похибки надає ННМ1 при Гаусовій функції належності за гібридним методом.

Ключові слова—ІТС, Прогнозування, Маршрутизатор, Затримка, Імітаційна модель, Нейронечітка мережа, Конфігурація, Функція належності, Метод оптимізації, Похибка.

І.ВСТУП

Сучасні алгоритми вибору найкоротшого маршруту, наприклад, алгоритми Беллмана–Форда та Дейкстри, які в даний час продовжують широко використовуватися в протоколах маршрутизації (RIP, OSPF та ін.), не завжди призводять до ефективного результату. Тому виникає необхідність дослідження можливості організації маршрутизації в комп'ютерних мережах, що лежать в основі інформаційно-телекомунікаційної системи (ІТС) залізничного транспорту, за допомогою методів штучного інтелекту.

ІІ.АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На сучасному етапі пошук розв'язку задачі маршрутизації в комп'ютерних мережах на основі використання нейронних мереж проводять різні вчені [1-12]. У свій час першу таку спробу здійснив Хопфілд для розв'язання задачі комівояжера [1]. Павленко М. А. виконав аналіз можливостей деяких нейронних мереж: багатошарового персептрону, мережі Хопфілда, мережі RBF для організації маршрутизації із п'яти маршрутизаторів [2]. У свою чергу, нейронечіткі мережі (ННМ) покликані поєднати в собі переваги нейронних мереж і систем нечіткого виведення [3-5], зокрема адаптивна нейронечітка система (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, ANFIS), що реалізована в додатку Fuzzy Logic Toolbox системи MatLAB. Раніше автором в роботах [5-8] були представлені результати досліджень використання інтелектуальних засобів у мережі ІТС залізничного транспорту. Визначення оптимального маршруту в комп'ютерній мережі можна провести на основі прогнозування часу доставки даних за маршрутом, зокрема в [8] автором запропонована структура

інтегрованої системи маршрутизації для Придніпровської залізниці. Але відомо, що донедавна робота залізничного транспорту України являла собою взаємодію шести залізниць: Східної, Львівської, Придніпровської, Харківської, Одеської, Донецької, на кожній з яких впроваджена відповідна ІТС [9], що потребує проведення додаткових досліджень.

Метою даної роботи є модифікування запропонованої структури інтегрованої системи маршрутизації в ІТС залізничного транспорту з використанням нейронечіткої технології.

III. МЕТОДИ

Для вирішення задачі обрання оптимального маршруту застосований метод прогнозування часу доставки пакету за маршрутом (від вузла джерела до вузла призначення). Джерелами затримки передачі пакету у комп'ютерній мережі є: затримка у лініях передачі; затримка, що вноситься самим маршрутизатором; час простою пакету у черзі на маршрутизаторах. Основну затримку вносять черги на маршрутизаторах у найбільш завантажених місцях комп'ютерної мережі. Для організації маршрутизації в ІТС залізничного транспорту пропонується модифікація структури [8], що відображена на рисунку 1.

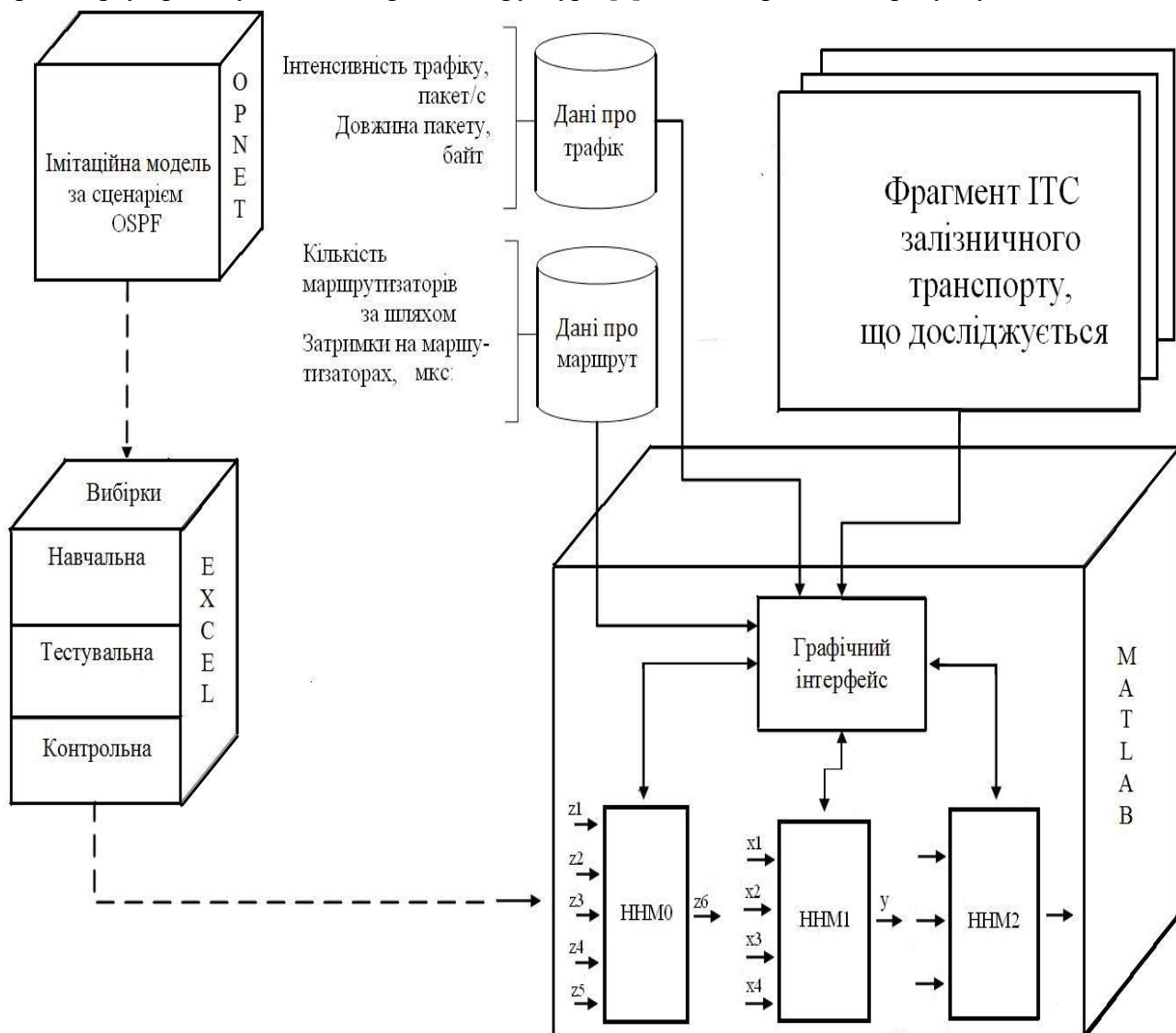


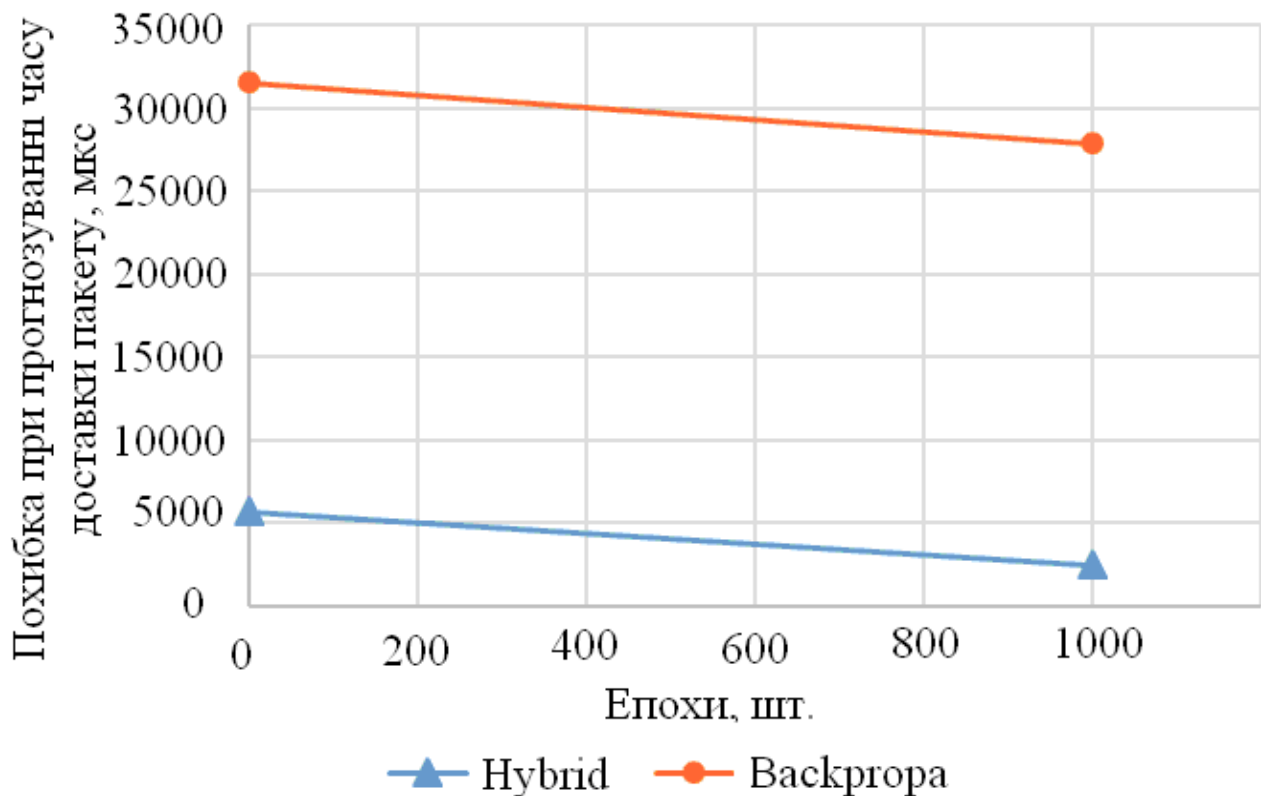
Рисунок 1 – Модифікована структура системи маршрутизації в ІТС залізничного транспорту

У [8] автором була запропонована структура інтегрованої системи маршрутизації в ІТС Придніпровської залізниці, основу якої складають наступні ННМ: ННМ1 конфігурації

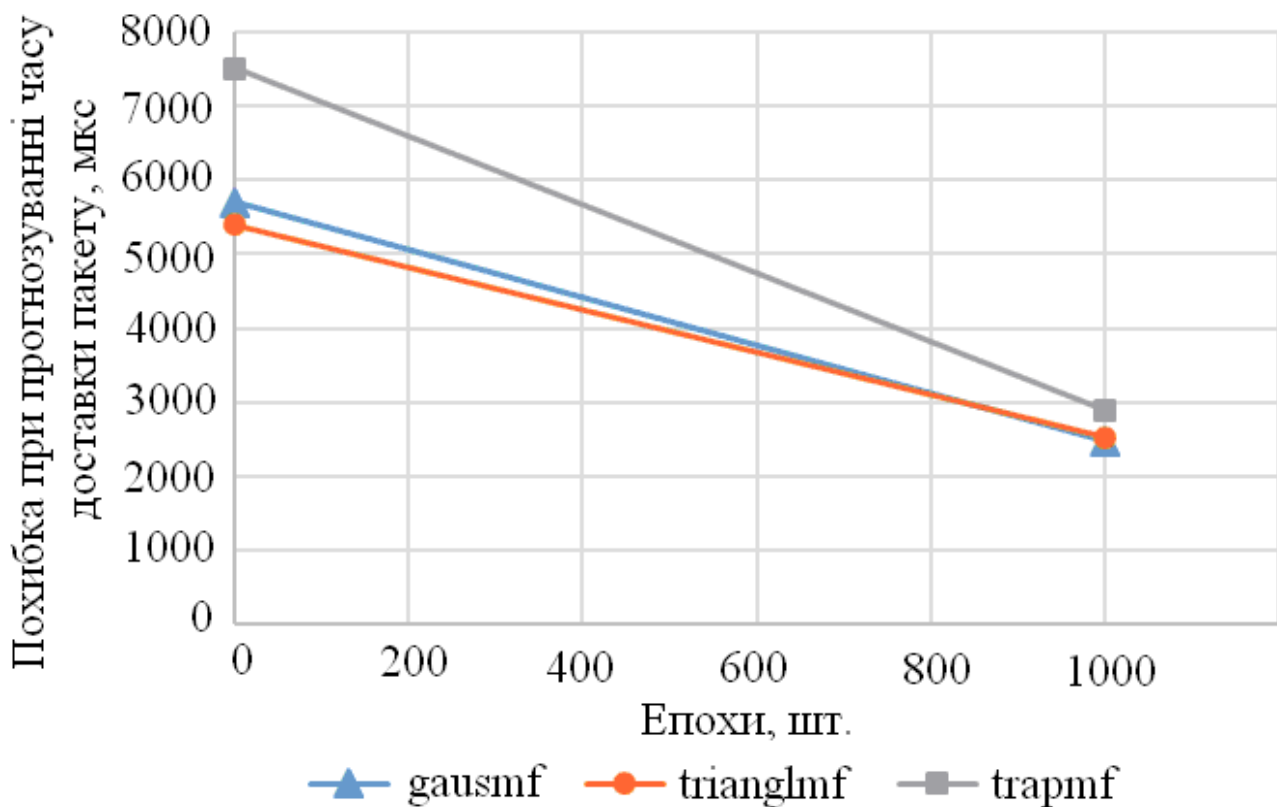
3-12-60-60-1 (де 3 – кількість нейронів шару input, 12 кількість нейронів шару inputmf, 60 – кількість нейронів шару rule, 60 – кількість нейронів шару outputmf, 1– кількість нейронів шару output) для прогнозування часу доставки даних; ННМ2 конфігурації 3-13-75-75-1 (де 3, 13, 75, 75 та 1 – це кількість нейронів першого, другого, третього, четвертого та п'ятого шарів відповідно) для визначення оптимального маршруту за однаковою кількістю маршрутизаторів. Відмінність від [8] стосується додавання ННМ0 (для прогнозування затримки на маршрутизаторі) та ускладнення ННМ1, що створені в MatLAB за алгоритмом Сугено. Якщо відомі значення затримок на маршрутизаторі $\{z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_5)\}$ в послідовні часові проміжки $t_1, t_2, \dots, t_5$, тоді задача прогнозування затримки на маршрутизаторі полягає в прогнозі значення $z(t_6)$ в майбутній часовий проміжок t_6 . Прогнозування затримки на маршрутизаторі здійснювалося на основі ННМ0 конфігурації 5-10-32-32-1, для лінгвістичної оцінки кожна вхідна змінна якої мала два терми (максимальне та мінімальне значення). Для прогнозування часу доставки пакету в комп'ютерній мережі використовувалася ННМ1 конфігурації 4-19-30-30-1, за вхідні параметри якої використані наступні змінні: x_1 – кількість проміжних маршрутизаторів, що складають маршрут проходження пакета ($K_1, K_2, \dots, K_{10}$); x_2 – інтенсивність трафіка ($A_{\min}, A_{\text{avg}}, A_{\max}$); x_3 – сумарна затримка на маршрутизаторах ($Z_{\min}, Z_{\text{avg}}, Z_{\max}$); x_4 – довжина пакета ($L_{\min}, L_{\text{avg}}, L_{\max}$). Дані для вибірок знімалися на створеній імітаційній моделі мережі фрагменту ІТС залізничного транспорту (відмінного від мережі Придніпровської залізниці), що побудована в системі Ornet Modeler. За допомогою пакету Microsoft Excel сформовані вибірки: навчальна (720 прикладів), тестувальна (360 прикладів) та контрольна (270 прикладів).

IV. РЕЗУЛЬТАТИ

Дослідження похибки ННМ1 за епохами проводились для різних методів оптимізації навчання: Backpropa (метод зворотного поширення помилки); Hybrid (гібридний метод), і різних функцій належності: Гаусової; трикутної; трапецієподібної (рисунк 2).



(a)



(б)

Рисунок 2 – Дослідження похибки ННМ2 за епохами: (а) – при різних методах оптимізації (функція gaussmf); (б) – при різних функціях належності (гібридний метод)

Із рисунку 2(а) видно, що для ННМ2 початкова похибка становила 5700 мкс та за 10000 епох впала до 2468 мкс при використанні Гаусової функції за гібридним методом, тобто зменшилась у 2,3 рази.

Із рисунку 2(б) видно, що найбільше змінення похибки сталось при застосуванні трапецієподібної функції належності у 2,5 рази, проте початкова похибка була більшою, ніж при використанні інших функцій належності, і складала 7516 мкс.

V. ОБГОВОРЕННЯ

Проведено зрівняння отриманих результатів (часу доставки даних) на імітаційній моделі мережі для фрагменту ІТС залізничного транспорту (відмінного від Придніпровської залізниці) та з використанням ННМ1 конфігурації 4-19-30-30-1 для двох маршрутів: найдовшого (похибка прогнозування часу доставки даних на ННМ1 склала 6 %) та найкоротшого (похибка прогнозування часу доставки даних на ННМ1 склала 3 %).

З одного боку, конфігурація 4-19-30-30-1 в зрівнянні з конфігурацією 3-12-60-60-1 надає можливість врахувати затримку на маршрутизаторах у якості додаткового параметра (що в свою чергу призведе до отримання більш точного результату), з іншого боку, зменшена в два рази кількість правил для її навчання (що в свою чергу має значний вплив на час роботи).

V. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На наступному етапі необхідно провести додаткові дослідження структури та оптимальних параметрів ННМ0 для прогнозування затримки на маршрутизаторі, а також апробацію повного комплексу ННМ0...ННМ2 з використанням реальних значень затримок.

VI. ВИСНОВКИ

Одним із підходів щодо організації маршрутизації в інформаційно-телекомунікаційній системі залізничного транспорту являється використання комплексу нейронечітких мереж (ННМ): ННМ0 (прогнозує затримку на маршрутизаторі); ННМ1 (прогнозує час доставки даних за маршрутом); ННМ2 (визначає оптимальний маршрут за рахунок однакової кількості маршрутизаторів).

За допомогою додатку Fuzzy системи MatLAB створені ННМ0 та ННМ1 конфігурацій 5-10-32-32-1 та 4-19-30-30-1 відповідно. Навчання ННМ1 проводилося протягом 10000 епох з використанням вибірки із 720 прикладів, затрачений час склав 45 хв.; при навчанні вдалось знизити рівень похибки ННМ2 (від 5700 мкс до 2468 мкс).

Виявлено, що найменше значення середньої похибки ННМ1 досягається при Гаусовій функції належності за гібридним методом оптимізації.

VII. ПОДЯКА

Подяка здобувачам ступеня «магістр» спеціальностей «Комп'ютерна інженерія» і «Кібербезпека» за проведення експериментів на створеній в системі Ornet Modeler моделі комп'ютерної мережі для розглядаемого фрагменту інформаційно-телекомунікаційної системи залізничного транспорту та формуванню відповідних вибірок для прогнозування часу доставки даних на основі ННМ1.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] J. J. Hopfield, "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", *Proceedings of National Academy of Sciences*, 1982, vol. 79, iss. 8, pp. 2554–2558, doi: 10.1073/pnas.79.8.2554
- [2] М. А. Pavlenko, "Analysis opportunities of artificial neural networks for solving single-path routing in telecommunication network", *Problemy telekomunikatsii*, № 2(4), retrieved from <http://pt.journal.kh.ua/index/0-139>
- [3] K. Sasikala, and V. Rajamani, "A neuro fuzzy based conditional shortest path routing protocol for wireless mesh network, *International Journal of Enhanced Research in Management & Computer Applications*", 2013, vol. 2, iss. 5, pp. 1–10
- [4] M. V. Kumar, and Dr. T. Lalitha, "Soft Computing: Fuzzy Logic Approach in Wireless Sensors Networks", *Circuits and Systems*, 2016, vol. 07, iss. 08, pp. 1242–1249, doi: <https://doi.org/10.4236/cs.2016.78108>
- [5] V. M. Pakhomova, "Network traffic forecasting in information-telecommunication system of Prydniprovsk railways based on neuro-fuzzy network", *Science and transport progress*, 2016, № 6 (66), pp. 105–114, doi: 10.15802/stp2016/90485
- [6] V. M. Pakhomova, and I. D. Tsykalo, "Optimal route definition in the network based on the multilayer neural model", *Science and transport progress*, 2018, № 6 (78), pp. 126–142, doi: 10.15802/stp2018/154443
- [7] V. M. Pakhomova, T. I. Skaballanovich, and V. S. Bondareva, "Intelligent routing in the network of information and telecommunication system of railway transport", *Science and transport progress*, 2019, № 2 (80), pp. 77–90, doi: 10.15802/stp2019/166092
- [8] V. M. Pakhomova, and Y. S. Mandybura, "Optimal route definition in the railway information network using neural-fuzzy models", *Science and transport progress*, 2019, № 5 (83), pp. 81–98, doi: 10.15802/stp2019/184385
- [9] V. M. Pakhomova, "Doslidzhennia informatsiino-telekomunikatsiinoi systemy zaliznychnoho transportu z vykorystanniam shtuchnoho intelektu: monohrafiia", Dnipro: Standart-Servis, 2018, 220 p, isbn: 978-617-7382-14-9
- [10] K. V. Kolesnikov, A. R. Karapetian, V. Y. and Bahan, "Analiz rezultativ doslidzhennia realizatsii zadachi marshrutyzatsii na osnovi neironnykh merezh ta henetychnykh alhorytmiv", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu, Seria: Tehnichni nauky*, 2016, № 1, pp. 28-34
- [11] A. M. Bryndas, P. I. Rozhak, N. O. Semenishin, and R. R. Kurka, "Implementing of the Problem of Choosing the Optimal Flight Rout by a Hopfield Neural Network", *The Scientific Bulletin of UNFU*, 2016, 26.1, pp. 357-363
- [12] W. H. Schuler, C. J. A. Bastos-Filho, and A. L. I. Oliveira, "A novel hybrid training method for hopfield neural networks applied to routing in communications networks", *International Journal of Hybrid Intelligent Systems*, 2009, vol. 6, iss. 1, pp. 27–39, doi: 10.3233/his-2009-0074