

УДК 004.942

Д. Е. Ситніков, Ю. О. Андрусенко

МОДЕЛЬ RESNET ДЛЯ ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШИРЕННЯ COVID-19 В УКРАЇНІ

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Анотація. У статті розглянута модель залишкової нейронної мережі ResNet та її застосування для задачі прогнозування поширення COVID-19 в Україні. Дослідження реалізовано програмно на Python. Для навчання моделі використано часові ряди показників захворюваності та щеплень. Результати роботи моделі досліджено на точність та швидкість. Порівняльний аналіз результатів продемонстрував високу швидкість моделі ResNet відносно іншої моделі згорткових нейронних мереж InceptionTime, але точність роботи ResNet поступається.

Ключові слова: прогнозування, часові ряди, залишкова нейронна мережа, Covid-19, порівняльний аналіз.

Abstract. The article considers the ResNet residual neural network model and its application to the problem of predicting the spread of COVID-19 in Ukraine. The study was implemented programmatically in Python. To train the model, time series of morbidity and vaccination rates were used. The result of the model was investigated for accuracy and speed. A comparative analysis of the results showed the performance of the ResNet model relative to another model of convolutional neural networks InceptionTime, but the accuracy of ResNet is lower.

Key words: predicting, time series, residual neural network, Covid-19, comparative analysis.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-64-68>.

Вступ

Сьогодні Україна долає третю хвилю поширення Covid-19. З метою зупинити поширення коронавірусу уряд посилює карантинні заходи, проводиться активна кампанія з вакцинації. Та попри це, смертність від коронавірусу досягла рекордного рівня, а відділення інтенсивної терапії залишаються завантаженими.

Наслідки пандемії негативно вплинули на економіку як України, так і інших держав. Через відмову вакцинуватися наближаються хвилі скорочень співробітників в ключових сферах життя. Наразі менше половини населення мають щеплення, тому цілком можливе продовження карантинних заходів на невизначений термін.

Актуальність

В таких умовах задача прогнозування поширення Covid-19 в Україні не втрачає своєї актуальності. Чому попри всі карантинні заходи Україна має піки захворюваності та які ознаки впливають на точність прогнозу? Для відповіді на ці питання розглянуто задачу прогнозування поширення хвороби в наступній постановці.

Постановка задачі. Вхідними даними є часові ряди показників захворюваності: кількість підтверджених випадків, кількість смертей, кількість активних випадків, приріст підтверджених випадків і приріст активних випадків, кількість щеплень і приріст щеплень. Необхідно спрогнозувати приріст підтверджених випадків з мінімальною похибкою.

Мета

Метою статті є дослідження моделі ResNet та обґрунтування її застосування для задачі прогнозування поширення Covid-19 в Україні.

Задачі дослідження

1. Застосування моделі ResNet для задачі прогнозування часових рядів.
2. Дослідження точності та швидкості моделі ResNet для задачі прогнозування поширення Covid-19 в Україні.
3. Порівняння показників роботи моделі ResNet з іншими CNN моделями.

Розв'язання задач

Методи прогнозування часових рядів (time series, TS) умовно можна розділити на статистичні, структурні і комбіновані [1]. Серед них увагу привертають структурні методи на основі нейронних мереж (artificial neural networks, ANN) та комбінації статистичних методів та методів на основі ANN.

В сучасних публікаціях застосовують методи на основі нейронних мереж для прогнозування фінансових показників [2-3], погодних умов [4-5], забруднення повітря [6], поширення Covid-19 [7-9], тощо. Серед методів ANN варто виділити архітектури рекуррентної нейронної мережі (recurrent neural network, RNN) і згорткової нейронної мережі (convolutional neural network, CNN).

Методи на основі згорткової нейронної мережі широко застосовуються для розпізнавання зображень. Одномірні CNN ефективні для прогнозування часових рядів. Одна з таких моделей InceptionTime досліджена у публікації [10], і показала швидкість і високу точність прогнозування.

Дослідження моделей згорткових нейронних мереж демонструють пряму залежність глибини мережі, а отже кількості шарів в CNN, від її ефективності. Однак існує поняття «насичення мережі» – та глибина, при якій точність навчання починає зменшуватися. Такі мережі складно оптимізувати. Тому запропонована архітектура залишкової нейронної мережі (residual network, ResNet). ResNet використовує алгоритм швидкого з'єднання (shortcut connection), який пропускає декілька шарів навчання, та виконує зіставлення ідентифікаторів.

Блок звичайної CNN безпосередньо вивчає цільову функцію. ResNet вивчає залишок, а не саму функцію. Отже, залишкова архітектура вивчає складну задачу шляхом обходу, та залишок додається до вихідних даних складного шару [11] (рис. 1а, 1б).

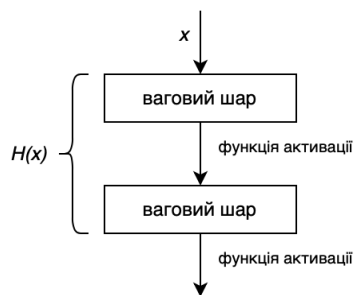


Рисунок 1а – Блок звичайної CNN

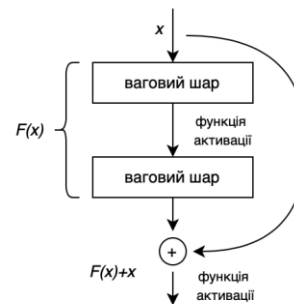


Рисунок 1б – Блок залишкової CNN

Основною перевагою залишкової нейронної мережі є простота оптимізації. Точність навчання не погіршується при насиченні мережі, а навпаки збільшується при збільшенні глибини навчання.

Для задачі прогнозування поширення Covid-19 в Україні використано модель ResNet. Проведено 20 експериментів навчання моделі на вихідній вибірці даних. Дослідження реалізовано за допомогою Python з використанням бібліотеки tsai для сучасних методів прогнозування часових рядів. Вхідні дані отримують за допомогою API з офіційного сайту РНБО. Цільовий параметр прогнозування – приріст активних випадків. Вікно навчання – 56 днів, горизонт прогнозування – 7 днів. Точність прогнозування оцінюється середньою абсолютною похибкою у відсотках (mean absolute percentage error, MAPE) [12].

Результати роботи моделі представлено графічно. Середнє, мінімальне та максимальне значення MAPE для кожного експерименту представлено на рис. 2.

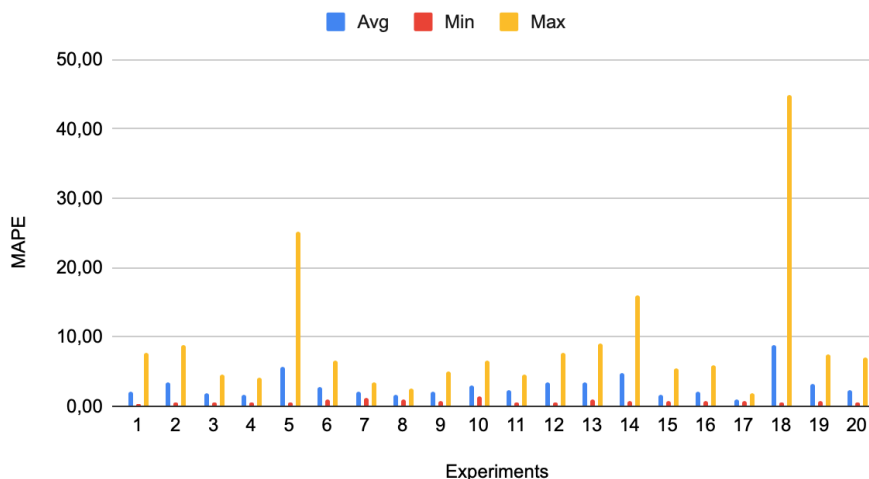


Рисунок 2 – Значення MAPE для 20 експериментів

Серед 20 експериментів у 85 % модель демонструє високу точність, максимальне значення MAPE не перевищує 9,15%. Середнє значення похибки за весь період прогнозування не перевищує 8,75%. Для подальшого аналізу результатів вилучено експеримент №18, через значне перевищення показників MAPE.

Результати експериментів у розрізі кожного дня прогнозування представлені на рис. 3.

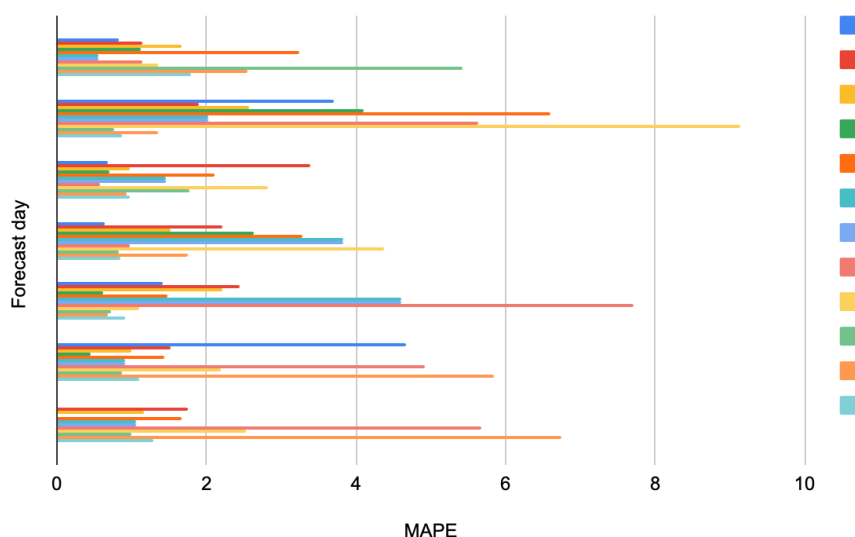


Рисунок 3 – Значення MAPE для кожного дня прогнозування

Середнє значення MAPE сумарно по всіх експериментах по кожному дню прогнозування представлено на рис. 4.

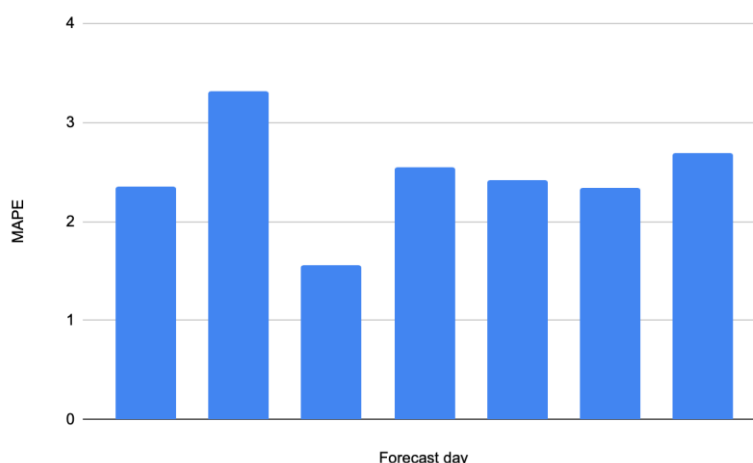


Рисунок 4 – Середнє значення MAPE для кожного дня прогнозування

У роботі [10] розглянуто модель InceptionTime. Порівняльний аналіз основних показників роботи моделей ResNet та InceptionTime на однаковій навчальній вибірці представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати роботи моделей ResNet та InceptionTime

Модель	Epoch	MAPE	Train Time
InceptionTime	1749	2.103	00:29:09
ResNet	1149	2.457	00:19:09

Висновки

В роботі представлені результати застосування моделі залишкової нейронної мережі для задачі прогнозування поширення Covid-19 в Україні. В результаті проведено 20 експериментів, модель продемонструвала стійкість та високу точність навчання. Варто відзначити, що середнє значення похибки не перевищує 8,75%.

Розвіяно припущення, що архітектура залишкової нейронної мережі, яка вивчає залишок, а не саму функцію, погіршує свою точність з кожним наступним кроком прогнозування. В результаті роботи моделі, у розрізі кожного дня прогнозування, не відзначено погіршення точності прогнозування.

Порівняльний аналіз моделей ResNet та InceptionTime продемонстрував перевагу моделі ResNet у швидкодії. Точність прогнозування ResNet поступилась моделі InceptionTime.

Подальші дослідження CNN моделей передбачають пошук оптимальної моделі чи комбінації моделей прогнозування поширення Covid-19 в Україні.

Список літератури

- [1] Ю. О. Андрусенко, «Аналіз основних моделей прогнозування часових рядів», *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, вип. 3(65), с. 91–96, 2020. doi: 10.30748/zhups.2020.65.14.
 - [2] Thomas Fischer and Christopher Krauss, «Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions», *European Journal of Operational Research*, vol. 270, no. 2, pp. 654–669, 2018.
 - [3] M. Shabani and A. Iosifidis, «Low-rank temporal attention-augmented bilinear network for financial time-series forecasting», in *2020 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, pp. 2156–2161, 2020.
 - [4] Z. Pala and R. Atici, «Forecasting sunspot time series using deep learning methods», *Solar Physics*, 294(5), 2019. doi: 10.1007/s11207-019-1434-6.
 - [5] S. Ravuri, K. Lenc, M. Willson, «Skilful precipitation nowcasting using deep generative models of radar», *Nature*, 597, pp. 672–677, 2021. doi: 10.1038/s41586-021-03854-z
 - [6] X. Yi, J. Zhang, Z. Wang, T. Li, and Y. Zheng, «Deep distributed fusion network for air quality prediction», in *Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining. ACM*, pp. 965–973, 2018.
 - [7] Zifeng Wang, RuiWen, XiChen, ShileiCao, Shao-LunHuang, Buyue Qian, and Yefeng Zheng, «Online Disease Diagnosis with Inductive Heterogeneous Graph Convolutional Networks», in *Proceedings of the Web Conference 2021*, pp.3349–3358, 2021.
 - [8] George Panagopoulos, Giannis Nikolentzos, and Michalis Vazirgiannis, «Transfer Graph Neural Networks for Pandemic Forecasting», in *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, Vol. 35. pp.4838–4845, 2021.
 - [9] Ardabili SF, Mosavi A, Ghamisi P, Ferdinand F, Varkonyi-Koczy AR, Reuter U, et al. «Covid-19 outbreak prediction with machine learning», *Algorithms*, 13(10), pp. 249-256, 2020.
 - [10] Д. Е. Ситніков, Ю. О. Андрусенко, «Застосування моделі на основі згорткових нейронних мереж для задачі прогнозування поширення COVID-19 в Україні», *Всеукраїнський міжвідомчий науково-технічний збірник «Автоматизовані системи управління та прилади автоматики»*, № 177 с. 43–47, 2021.
 - [11] He Kaiming, Zhang Xiangyu, Ren Shaoqing, Sun Jian, «Deep Residual Learning for Image Recognition», *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Las Vegas, NV, USA: IEEE. pp. 770–778, 2016. doi:10.1109/CVPR.2016.90.
 - [12] Hyndman, Rob J., and Anne B. Koehler, «Another look at measures of forecast accuracy», *International Journal of Forecasting*, 22(4), pp. 679-688, 2006. doi: 10.1016/j.ijforecast.2006.03.001.
- Стаття надійшла: 22.01.2022.

References

- [1] Y. Andrusenko «Analiz osnovnykh modelei prohnouzuvannia chasovykh riadiv», *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl*, № 3(65), s. 91–96, 2020 [in Ukrainian].
- [2] Thomas Fischer and Christopher Krauss, «Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions», *European Journal of Operational Research*, vol. 270, no. 2, pp. 654–669, 2018.
- [3] M. Shabani and A. Iosifidis, «Low-rank temporal attention-augmented bilinear network for financial time-series forecasting», in *2020 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, pp. 2156–2161, 2020.
- [4] Z. Pala and R. Atici, «Forecasting sunspot time series using deep learning methods», *Solar Physics*, 294(5), 2019. doi: 10.1007/s11207-019-1434-6.
- [5] S. Ravuri, K. Lenc, M. Willson, «Skilful precipitation nowcasting using deep generative models of radar», *Nature*, 597, pp. 672–677, 2021. doi: 10.1038/s41586-021-03854-z.
- [6] X. Yi, J. Zhang, Z. Wang, T. Li, and Y. Zheng, «Deep distributed fusion network for air quality prediction», in *Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining. ACM*, pp. 965–973, 2018.
- [7] Zifeng Wang, RuiWen, XiChen, ShileiCao, Shao-LunHuang, Buyue Qian, and Yefeng Zheng, «Online Disease Diagnosis with Inductive Heterogeneous Graph Convolutional Networks», in *Proceedings of the Web Conference 2021*, pp.3349–3358, 2021.
- [8] George Panagopoulos, Giannis Nikolentzos, and Michalis Vazirgiannis, «Transfer Graph Neural Networks for Pandemic Forecasting», in *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, vol. 35, pp.4838–4845, 2021.
- [9] Ardabili SF, Mosavi A, Ghamisi P, Ferdinand F, Varkonyi-Koczy AR, Reuter U, et al. «Covid-19 outbreak prediction with machine learning», *Algorithms*, 13(10), pp. 249-256, 2020.

- [10] D. E. Sytnikov, Y. O. Andrusenko, «Zastosuvannia modeli na osnovi zghortkovykh neironnykh merezh dlia zadachi prohnouzuvannia poshyrennia COVID-19 v Ukraini», *Vseukrainskyi mizhvidomchyi nau-kovo-tekhnichnyi zbirnyk «Avtomatyzovani systemy upravlinnia ta prylady avtomatyky»*, № 177 s. 43–47, 2021 [in Ukrainian].
- [11] He Kaiming, Zhang Xiangyu, Ren Shaoqing, Sun Jian, «Deep Residual Learning for Image Recognition», *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Las Vegas, NV, USA: IEEE. pp. 770–778, 2016. doi:10.1109/CVPR.2016.90.
- [12] Hyndman, Rob J., and Anne B. Koehler, «Another look at measures of forecast accuracy», *International Journal of Forecasting*, 22(4), pp. 679–688, 2006. doi:10.1016/j.ijforecast.2006.03.001.

Відомості про авторів

Ситніков Дмитро Едуардович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри системотехніки.

Андрусенко Юлія Олександрівна – аспірант кафедри електронних обчислювальних машин.

D. E. Sitnikov, Y. O. Andrusenko

**RESNET MODEL FOR THE FORECASTING THE
EXPANSION OF COVID-19 IN UKRAINE**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv