

ВИКОРИСТАННЯ ЗОВНІШНІХ КОНТЕКСТНИХ ОЗНАК У СЦЕНАРНОМУ ПРОГНОЗУВАННІ ЧАСОВИХ РЯДІВ НА ОСНОВІ LLM

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено задачу оцінювання впливу зовнішніх контекстних ознак на точність та інтервальну надійність сценарного прогнозування нестационарних часових рядів. Запропоновано модифікацію сценарного ансамблю A3-X, у якій числова історія ряду доповнюється ознаками зовнішнього середовища та текстового контексту перед корекцією прогнозу. На прикладі епідемічного часового ряду показано, що використання запропонованої модифікації дозволило зменшити середню WAPE з 2,1755 до 1,6127, підвищити емпіричне покриття прогнозних інтервалів з 0,7857 до 0,8893 та збільшити інтегральний критерій J з 0,6484 до 0,6642, що свідчить про доцільність урахування зовнішнього контексту в сценарному прогнозуванні.

Ключові слова: часові ряди; сценарне прогнозування; великі мовні моделі; зовнішній контекст; мобільність; невизначеність; COVID-19.

Abstract

The problem of assessing the impact of external contextual features on the accuracy and interval reliability of scenario-based forecasting of non-stationary time series is investigated. The A3-X modification of the scenario ensemble is proposed, in which the numerical history of the series is supplemented with external environment and textual context features before forecast correction. Using an epidemic time series as an example, it is shown that the proposed modification reduced mean WAPE from 2.1755 to 1.6127, increased empirical prediction interval coverage from 0.7857 to 0.8893, and improved the integral criterion J from 0.6484 to 0.6642. This indicates the feasibility of incorporating external context into scenario-based forecasting.

Keywords: short time series; scenario forecasting; large language models; external context; mobility; uncertainty; COVID-19.

Вступ

У попередніх роботах авторами було запропоновано технологію декомпозиції та ансамблювання локальних моделей для зменшення прогнозової невизначеності [1], а також знання-орієнтовану ієрархічну мультиагентну архітектуру IMAIC для сценарного прогнозування часових рядів на основі LLM [2]. Подальша верифікація такої архітектури показала доцільність сценарного ансамблювання, однак залишилося питання, чи може система отримати додатковий вигравш не тільки з числової історії ряду, а й із зовнішнього контексту.

Актуальність цього питання зумовлена тим, що епідемічні та соціально-економічні часові ряди часто змінюються під впливом подій, які не повністю відображаються у попередніх числових значеннях. У сучасних дослідженнях LLM для прогнозування часових рядів дедалі частіше використовується текстова або подієва інформація [3, 4]. Тому метою даної роботи є перевірка гіпотези про те, що зовнішні контекстні ознаки можуть підвищити якість короткострокового сценарного прогнозування порівняно з архітектурою, яка використовує лише числові дані.

Результати дослідження

Для експерименту використано часовий ряд добової кількості підтверджених випадків COVID-19 в Україні за період з 23 січня 2020 року до 9 березня 2023 року. Було сформовано 20 сценарних вікон, по 5 для кожного типу динаміки: зростання перед піком, спад після піку, відскік та аномальна динаміка. Для кожного вікна використовувалася історія довжиною 28 днів і горизонт прогнозування 14 днів.

Порівнювалися чотири основні архітектури. A1 є одноагентним базовим підходом. A3-base відповідає сценарному ансамблю без додаткового зовнішнього апріорного сценарного розподілу. A3-N доповнює A3-base корекцією, навченою тільки на попередніх числових вікнах. A3-X використовує

ту саму схему корекції, але додає зовнішні контекстні ознаки: індикатори державних обмежень з OхCGRT [5], ознаки мобільності населення з Google COVID-19 Community Mobility Reports [6], маркер кризового порушення звітності від 24 лютого 2022 року та текстові МЕТА-ознаки короткого опису контексту.

Щоб уникнути витoku майбутньої інформації, корекційні моделі для кожного тестового вікна навчалися тільки на попередніх історичних вікнах. Якість оцінювалася за середньою WAPE, по емпіричних покриттях прогнозних інтервалів С та інтегральному критерію J, який узагальнює якість підготовки даних, точність прогнозу та урахування невизначеності.

Результати дослідження

У табл. 1 наведено узагальнені результати за всіма 20 сценарними вікнами. Як видно з таблиці, АЗ-Х має найменшу середню WAPE серед розглянутих архітектур і, водночас, найбільше емпіричне покриття прогнозних інтервалів. На рис. 1 подано порівняння архітектур за трьома основними показниками.

Таблиця 1 - Узагальнені результати експерименту за 20 сценарними вікнами

Архітектура	WAPE	С	J	U2	U3
A1	2,1284	0,7036	0,5138	0,4173	0,5914
A3-base	2,1755	0,7857	0,6484	0,6224	0,6495
A3-N	1,6616	0,8143	0,6577	0,6336	0,6622
A3-X	1,6127	0,8893	0,6642	0,6344	0,6925

Вплив зовнішнього контексту на якість сценарного прогнозування

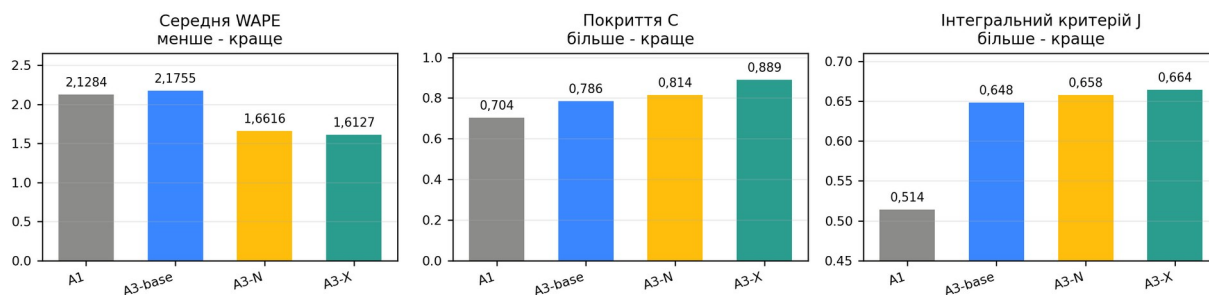


Рисунок 1 - Порівняння архітектур за середньою WAPE, покриттям С та інтегральним критерієм J

Порівняно з АЗ-base архітектура АЗ-Х зменшує середню WAPE з 2,1755 до 1,6127 ($p = 0,0136$), підвищує покриття прогнозних інтервалів з 0,7857 до 0,8893 ($p = 0,0075$) та збільшує інтегральний критерій J з 0,6484 до 0,6642 ($p = 0,0328$). Отже, додавання зовнішнього контексту дає не тільки ширші або обережніші інтервали, а й статистично значуще покращення інтегрального критерію порівняно з базовим сценарним ансамблем.

Окремо важливо порівняти АЗ-Х з АЗ-N, оскільки АЗ-N уже використовує корекцію за попередніми числовими вікнами. У цьому порівнянні АЗ-Х зменшує середню WAPE з 1,6616 до 1,6127; парна різниця становить -0,0489 з $p = 0,0279$. Покриття інтервалів також зростає з 0,8143 до 0,8893 ($p = 0,0074$). Водночас приріст J проти АЗ-N є помірним, тому його доцільно трактувати як додатковий, а не основний результат.

Найбільш виразний ефект спостерігається для сценаріїв спаду після піку. Для цього типу вікон АЗ-Х зменшує середню WAPE з 6,2686 для АЗ-base до 4,1249 та підвищує J з 0,5496 до 0,5879. Це узгоджується з припущенням, що зовнішні ознаки є найбільш корисними тоді, коли динаміка ряду змінюється під впливом зовнішніх організаційних або кризових чинників.

Висновки

Запропоновано експериментальну модифікацію сценарного ансамблю АЗ-Х, у якій порівняно коротка числова історія часового ряду доповнюється зовнішніми ознаками державних обмежень, мобільності населення, кризових подій та текстового опису контексту. На даних COVID-19 в Україні показано, що така модифікація статистично значуще покращує WAPE і покриття прогнозних інтервалів порівняно з числовою корекцією без зовнішнього контексту, а також підвищує

інтегральний критерій J порівняно з базовим сценарним ансамблем. Подальші дослідження доцільно спрямувати на перевірку цього підходу на інших коротких нестационарних рядах та на автоматичне формування зовнішнього контексту за допомогою LLM-агентів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Варер Б. Ю. Технологія декомпозиції та ансамблювання моделей для зменшення невизначеності та підвищення узгодженості прогнозів на основі LLM / Б. Ю. Варер // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2025. – № 4. – С. 129–137. – DOI: 10.31649/2307-5376-2025-4-129-137.
2. Варер Б. Ю. Знання-орієнтована ієрархічна мультиагентна інтелектуальна система сценарного прогнозування часових рядів на основі LLM / Б. Ю. Варер, В. Б. Мокін // Вісник ВПІ. – 2026. – № 1.
3. Jin M. Time-LLM: Time Series Forecasting by Reprogramming Large Language Models [Електронний ресурс] / M. Jin, S. Wang, L. Ma et al. – 2023. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2310.01728>.
4. Wang X. From News to Forecast: Integrating Event Analysis in LLM-Based Time Series Forecasting with Reflection [Електронний ресурс] / X. Wang, M. Feng, J. Qiu, J. Gu, J. Zhao. – 2024. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2409.17515>.
5. Hale T. A global panel database of pandemic policies (Oxford COVID-19 Government Response Tracker) / T. Hale et al. // Nature Human Behaviour. – 2021. – Vol. 5. – P. 529–538. – DOI: 10.1038/s41562-021-01079-8.
6. Aktay A. Google COVID-19 Community Mobility Reports: Anonymization Process Description (version 1.1) [Електронний ресурс] / A. Aktay, S. Bavadekar, G. Cossoul et al. – 2020. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2004.04145>.

Мокін Віталій Борисович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри системного аналізу та інформаційних технологій; e-mail: vbmokin@vntu.edu.ua;

Варер Борис Юхимович — аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій; e-mail: androbor17@gmail.com

Mokin Vitalii B. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of System Analysis and Information Technologies, e-mail: vbmokin@vntu.edu.ua;

Varer Borys Yu. — Post-graduate Student of the Chair of System Analysis and Information Technologies, e-mail: androbor17@gmail.com