

АДАПТИВНЕ ЗВАЖУВАННЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ У МОДЕЛЯХ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ФІНАНСОВИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі запропоновано метод адаптивного зважування спостережень у моделях регуляризації для прогнозування фінансових часових рядів. Підхід базується на використанні схем згасання ваг, що дозволяє враховувати часову динаміку даних і зменшувати вплив застарілої інформації. Проведено експериментальний аналіз ефективності запропонованого підходу та його порівняння з базовими схемами зважування. Отримані результати свідчать про доцільність використання адаптивного зважування для підвищення точності прогнозування фінансових показників.

Ключові слова: Elastic Net, регуляризація, часові ряди, адаптивне зважування, згасання ваг, волатильність, прогнозування фінансових даних.

Abstract

The paper proposes a method of adaptive weighting of observations in regularization models for forecasting financial time series. The approach is based on weight decay schemes that allow taking into account the temporal dynamics of data and reducing the influence of outdated observations. An experimental analysis of the proposed method is carried out and compared with baseline weighting schemes. The obtained results indicate the effectiveness of adaptive weighting for improving the accuracy of forecasting financial indicators.

Keywords: Elastic Net, regularization, time series, adaptive weighting, weight decay, volatility, financial forecasting.

Вступ

Регуляризовані лінійні моделі залишаються одним із практичних інструментів прогнозування фінансових часових рядів, особливо у задачах, де використовується велика кількість лагових змінних і спостерігається мультиколінеарність між пояснювальними ознаками. У таких умовах класичні методи оцінювання параметрів можуть давати нестійкі результати, що знижує надійність прогнозів. Одним із найбільш уживаних інструментів є Elastic Net, що поєднує L1- та L2-регуляризацію і дозволяє одночасно виконувати відбір ознак та стабілізувати оцінки коефіцієнтів [1].

Практична проблема, яка проявляється в таких постановках прогнозування, полягає в розриві між останнім історичним значенням і першим прогнозним кроком, що погіршує сприйняття моделі як узгодженої з історичною динамікою. Як один зі способів адаптації до нестабільності ряду у літературі використовують часові ваги, коли нові спостереження мають більший внесок у функцію втрат, а старі менший. Показовим прикладом є підхід TWLS, у якому оцінювання виконується методом найменших квадратів із залежними від часу вагами, що посилює передбачуваність за наявності структурних зрушень у предиктивних зв'язках. У регуляризованих моделях також розглядають ідею різних штрафів для різних лагів, наприклад у lag weighted lasso. Для підвищення стійкості до викидів у даних застосовують робастні варіанти штрафних регресій, які менше реагують на аномальні значення [2, 3, 4].

У попередній роботі [5] запропоновано метод часової деградації ваг у Elastic Net на основі гаусівського згасання та виконано порівняння кількох схем зважування в задачі прогнозування фінансових рядів. У цій роботі ми розширюємо підхід, додаючи режимно адаптивну схему зважування, у якій швидкість згасання залежить від поточного рівня волатильності, а також уточнюємо критерій узгодженості прогнозу на межі навчальної та прогнозної вибірок через аналіз показника граничного розриву.

Метою цієї роботи є підвищення достовірності прогнозування шляхом удосконалення та адаптації методу часового зважування для Elastic Net, у якому інтенсивність згасання визначається поточним рівнем волатильності. Це має зменшити граничний розрив між історією та прогнозом без ускладнення оптимізаційної процедури.

Результати дослідження

У попередній версії методу [5] розглядалася зважена постановка Elastic Net, у якій мінімізується сума зважених квадратів похибок з додаванням комбінованого регуляризаційного штрафу, а порівняння виконувалося для кількох фіксованих схем деградації ваг, включно з гаусівською. У цій роботі запропоновано новий метод Volatility Adaptive Logistic Decay, який зберігає ідею time decay weighting, але робить інтенсивність зважування режимно залежною.

Нехай $i = 1, \dots, n$ є індексом спостереження у навчальній вибірці, а $age_i = i/(n - 1)$ є нормованим віком спостереження. Ваги задаються логістичною функцією:

$$w_i = \frac{1}{1 + e^{-k_{eff}(age_i - c)}} \quad (1)$$

де $c \in (0, 1)$ визначає точку перегину логістичної функції, а $k_{eff} = k \cdot \gamma$ задає крутизну переходу функції і визначається як добуток базового параметра крутизни $k > 0$ та коефіцієнта режиму γ , що визначається як відношення локальної дисперсії до глобальної:

$$\gamma = \frac{Var_{recent}}{Var_{full}} \quad (2)$$

де Var_{recent} – дисперсія значень ряду на останньому часовому вікні m , а Var_{full} на всій навчальній вибірці. Така конструкція забезпечує адаптивну зміну ваг залежно від режиму мінливості. Якщо локальна дисперсія перевищує середню дисперсію на всій вибірці ($Var_{recent} > Var_{full}$), коефіцієнт γ зростає, що призводить до збільшення k_{eff} . У цьому випадку логістична крива стає крутішою, і модель швидше зменшує вагу давніх спостережень, концентруючись на більш нових даних. Навпаки, якщо локальна мінливість нижча за загальну ($Var_{recent} < Var_{full}$), значення γ зменшується, крива переходу стає більш пологою, і ефективна довжина пам'яті моделі збільшується.

Логістичні перехідні функції використовують у підходах, де модель описує плавні переходи між різними режимами, і такі моделі застосовують у фінансових даних. Також у літературі зустрічаються підходи, які поєднують плавні переходи з перемиканням режимів, що підкреслює актуальність режимної ідеї для фінансових рядів. На відміну від цих моделей, запропонований метод не ускладнює саму модель прогнозу. Він лише змінює ваги у функції втрат, тому він залишається сумісним зі стандартним навчанням Elastic Net [1, 6].

Для оцінювання точності використовується RMSE, яка є поширеною метрикою похибки прогнозу. Додатково аналізується показник Deviation як різниця між першим прогнозним значенням і останнім історичним значенням, оскільки саме цей показник напряму відображає проблему розриву на межі історії та прогнозу [3].

Висновки

Запропоновано новий метод Volatility Adaptive Logistic Decay для режимно залежного часового зважування в Elastic Net. На відміну від фіксованих схем, у цьому методі швидкість зменшення ваг старих спостережень змінюється залежно від того, наскільки мінливим є ряд у останній частині навчальної вибірки. Метод зберігає простоту навчання Elastic Net та спирається на загальну ідею часових ваг, яка показала ефективність у TWLS. Практично метод орієнтований на зменшення розриву між останнім історичним значенням і першим прогнозом, що робить прогноз більш узгодженим з історією.

За результатами проведеного експерименту для змінної S&P 500 встановлено, що різні схеми зважування демонструють відмінності як за точністю прогнозу, так і за поведінкою прогнозу на межі історичних і прогнозних значень. Експеримент проведено на місячних історичних даних індексу S&P 500, при цьому в моделі використовувалися логарифмічні значення ряду та оцінювався однокроковий прогноз.

Найменше значення RMSE отримано для схеми exponential, де RMSE становить 0.0320, однак відповідний граничний розрив між останнім історичним значенням і першим прогнозним є значним і дорівнює 82.2830. Для схеми gaussian отримано RMSE 0.0354 при параметрі sigma 0.2, при цьому значення Deviation становить 32.6988.

Запропонована схема VALD показала RMSE 0.0369, що є близьким до результатів інших схем, але водночас забезпечила найменший за модулем граничний розрив Deviation – 10.4125. Для порівняння, у базових схемах значення Deviation становлять – 82.7433 для none, 52.6252 для linear, 82.2830 для

exponential та 32.6988 для gaussian. У цьому дослідженні показник Deviation характеризує різницю між останнім історичним значенням ряду та першим прогнозним значенням моделі.

Отримані результати свідчать, що запропонований підхід дозволяє істотно зменшити розрив між історичною та прогнозною частинами ряду без суттєвого погіршення точності моделі за показником RMSE, що покращує достовірність прогнозування. Таким чином, використання адаптивного зважування спостережень демонструє перспективність для застосування у моделях регуляризації при прогнозуванні фінансових часових рядів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman, «The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction,» 2nd ed., Springer, 2009, 533 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>.

Y. Wang, X. Hao, C. Wu «Forecasting stock returns: A time-dependent weighted least squares approach», Journal of Financial Markets, vol. 53, Art. 100568, March 2021. <https://doi.org/10.1016/j.finmar.2020.100568>.

H. Park, F. Sakaori, «Lag weighted lasso for time series model,» Computational Statistics, vol. 28, no. 3, pp. 1069–1089, June 2013. <https://doi.org/10.1007/s00180-012-0313-5>

E. Smucler, V. J. Yohai, «Robust and sparse estimators for linear regression models,» Computational Statistics and Data Analysis, vol. 111, pp. 1–13, July 2017. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2017.02.002>.

Кветний Р.Н., Бородкін С.І. «Покращена модель регуляризації ELASTIC NET для обробки фінансових часових рядів,» Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, vol. 49, no. 1, pp. 29–35, 2025. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2025-49-1-29-35>.

R. J. Elliott, T. K. Siu, J. W. Lau, «A hidden Markov regime switching smooth transition model,» Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics, vol. 22, no. 3, 2018. <https://doi.org/10.1515/snede-2016-0061>.

Бородкін Сергій Іванович – аспірант групи 126-24а, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: borserg90@gmail.com;

Кветний Роман Наумович – професор, д.т.н., кафедра Автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: rkvetny@vntu.edu.ua;

Borodkin Serhii I. – PhD student of 126-24a, Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: borserg90@gmail.com;

Kvyetnyy Roman N. – Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Department of Automation and Intelligent Information Technology, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rkvetny@vntu.edu.ua