

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.060

**КОНСТРУКТИВНО-ПРОДУКЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕТЕРМІНОВАНИХ
ЧАСОВИХ РЯДІВ З ФРАКТАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Шинкаренко В. І., Жадан А.А

Український державний університет науки та технологій, Україна

Вступ. Існує багато способів та моделей для опису складних систем та їх поведінки. Одним із найпоширеніших методів є побудова часового ряду на основі показників системи на визначеному проміжку часу. Отримане представлення можна використовувати для подальших досліджень.

Основними завданнями дослідження часового ряду є моделювання, аналіз та прогнозування [1]. Розв'язання задачі прогнозування дозволяє передбачити подальші поведінку та/або її стан у визначений момент часу у майбутньому. На сьогоднішній день існує багато методів для передбачення подальших значень часового ряду [2, 3].

Прогнозувати подальші значення часового ряду також можливо через його фрактальні властивості [4]. Конструктивно-продукційний підхід [5] вже був успішно використаний разом з L-системами [7] для моделювання систем та процесів різної природи, які також включали детерміновані та недетерміновані часові ряди [6].

Була визначена наступна задача – побудувати модель на основі часового ряду та його фрактальних властивостей. Потрібно знайти конструктивну модель, яка описувала б наданий ряд.

Основний матеріал. Основним елементом конструктивно-продукційного моделювання є поняття узагальненого конструктор [4], який описується наступним чином:

$$C = \langle M, \Sigma, \Lambda \rangle \quad (1)$$

де M – поновлюваний неоднорідний носій, Σ – сигнатура відносин та пов'язаних з ними операцій, Λ – інформаційне забезпечення конструювання: призначення, умови початку та завершення конструювання, правила та обмеження та онтологія [5].

У якості основи процесу пошуку моделі, яка б описувала часовий ряд, був використаний генетичний алгоритм. Хромосома має наступний вигляд:

$$X = \langle W_c, W_d \rangle \quad (2)$$

де W_c – текстова частина моделі (аксіома та правила підстановки), W_d – частина параметрів (мат. сподівання, дисперсія, їх приріст, тощо).

Для процесу відновлення моделі були визначені три композитні конструктори [8]. Також, залежно від параметрів, розроблені композитні конструктори можуть працювати у двох режимах: контролю якості перетворення часових рядів у правила заміщення та екстраполяції часових рядів для прогнозування [8].

У якості відправної точки для проведення досліджень були обрані детерміновані часові ряди. На першому етапі випробувань були використані ряди, які генеруються за одним правилом підстановки в чотири символи у правій частині правила, одним – у лівій та простою аксіомою (один символ). Для подальших етапів кількість правил та їх структура разом із аксіомою ускладнювались, завдяки чому ряди для експериментів ставали більш складними.

Загалом були виконані випробування для наступних типів конструкцій: модель із простою аксіомою та одним правилом в 4 символи; модель із простою аксіомою та одним правилом від 4 до 10 символів; модель із простою аксіомою та від 1 до 3 правил кожне з яких довжиною в 4 символи; модель із складною аксіомою та від 1 до 3 правил кожне з яких довжиною в 4 символи.

Для кожного етапу (окрім останнього) було проведено 100 випробувань з максимальною допустимою кількістю ітерацій у 10000. Даний процес був автоматизований за допомогою програмного додатку, який самостійно генерував часові ряди на основі моделей, які створювалися випадковим чином та відновлював її за допомогою генетичного алгоритму. Результати кожного з етапів випробувань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати випробувань

Етап випробувань	1	2	3	4
Макс. кіль-ть ітерацій	207	22705	79462	39346
Середня кількість ітерацій за годину	635,94	11451,11	14938,03	14692

На останньому етапі випробувань аксіома також була інтегрована у процеси схрещування та мутації, які могли порушити живучість деяких правил. Для вирішення даної проблеми був додано ребалансування аксіоми. Загалом було проведено 65 випробувань: 40 були завершені відновленням моделі, а 25 були завершені до отримання результату через перевищення максимальної кількості ітерацій.

Висновки. Розроблений підхід до застосування конструктивно-продукційного моделювання для відтворення конструктивної моделі

фрактального часового ряду. Розроблений програмний додаток для автоматизації процесів відновлення та випробувань. Загалом було проведено чотири етапи випробувань, на кожному з яких шукана модель ускладнювалась шляхом збільшення кількості правил підстановки, кількості символів у їх правій частині, а також символів у аксіомі. На кожному з етапів випробувань були отримані позитивні результати. Для подальшого розвинення даної концепції необхідне охоплення стохастичних рядів штучного й реального походження. Також слід покращити часові показники роботи програмного додатку шляхом розподілення обчислень на декілька агентів або сервісів, об'єднаних у єдину систему.

Література

1. A. S. Weigend, "Time series prediction: forecasting the future and understanding the past", Routledge, 2018.
2. D. Kosiorowski, D. Mielczarek and J. P. Rydlewski, "Double functional median in robust prediction of hierarchical functional time series", arXiv preprint arXiv:1710.02669, 2017.
3. V. Bulakh, L. Kirichenko and T. Radivilova, „Time series classification based on fractal properties”, IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), IEEE, 2018, pp. 198-201.
4. V.I. Shynkarenko and V.M. Ilman, "Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. Part II. Refining Transformations". Cybernetics and Systems Analysis, 50(6), 2014, 829 – 841. doi: 10.1007/s10559-014-9674-9; "Part I. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure". Cybernetics and Systems Analysis, vol. 50(5), 2014, pp. 665 – 662. doi: 10.1007/s10559-014-9655-z
5. V. Skalozub, V. Ilman and V. Shynkarenko, "Development of ontological support of constructive-synthesizing modeling of information systems", Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, vol. 6, issue 4 (90), 2017, pp. 58–69. doi: 10.15587/1729-4061.2017.119497
6. V. Shynkarenko, K. Lytvynenko, R. Chyhir and I. Nikitina, "Modeling of Lightning Flashes in Thunderstorm Front by Constructive Production of Fractal Time Series". In: Advances in Intelligent Systems and Computing IV, vol. 1080, Springer, 2020, pp. 173-185/ doi: 10.1007/978-3-030-33695-0_13
7. P. Prusinkiewicz and A. Lindenmayer, "The algorithmic beauty of plants", Springer Science & Business Media, 2012.
8. V. Shynkarenko and A. Zhadan, "Modeling of the Deterministic Fractal Time Series by One Rule Constructors," 2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Zbarazh, Ukraine, 2020, pp. 336-339, doi: 10.1109/CSIT49958.2020.9321923.

CONSTRUCTIVE-SYNTHESIZING MODELING OF THE DETERMINISTIC FRACTAL TIME SERIES

Shynkarenko Viktor, Zhadan Artem

Abstract. This study represents the usage of the constructive-synthesizing modeling for deterministic fractal time series forecasting by finding the appropriate model. The constructive-synthesizing modeling was already successfully used for generation various time series using L-system and normal distribution. The main purpose of this research is the opposite process – find the model, which is related to the given values. The composite constructor has been developed and it consists of four interconnected constructors, which are performing actions from generating the time series to finding a corresponding model using genetic algorithm. The software solution has been developed to achieve the automatization of the testing process. There are four main stages of the experiments with different complexity of the time series models, starting with one-rule with four characters in the right part and ending with one-to-three rules with four-to-ten characters in the right part and complex axiom. The practical application of this solution is requiring further studying with using stochastic real-life time series.

Keywords: L-system; constructive-synthesizing modeling; fractal; time series substitution rules; genetic algorithm

References

1. S. Weigend, “Time series prediction: forecasting the future and understanding the past”, Routledge, 2018.
2. D. Kosiorowski, D. Mielczarek and J. P. Rydlewski, “Double functional median in robust prediction of hierarchical functional time series”, arXiv preprint arXiv:1710.02669, 2017.
3. V. Bulakh, L. Kirichenko and T. Radivilova, „Time series classification based on fractal properties”, IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), IEEE, 2018, pp. 198-201.
4. V.I. Shynkarenko and V.M. Ilman, “Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. Part II. Refining Transformations”. *Cybernetics and Systems Analysis*, 50(6), 2014, 829 – 841. doi: 10.1007/s10559-014-9674-9; “Part I. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure”. *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 50(5), 2014, pp. 665 – 662. doi: 10.1007/s10559-014-9655-z
5. V. Skalozub, V. Ilman and V. Shynkarenko, “Development of ontological support of constructive-synthesizing modeling of information systems”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6, issue 4 (90), 2017, pp. 58–69. doi: 10.15587/1729-4061.2017.119497
6. V. Shynkarenko, K. Lytvynenko, R. Chyhir and I. Nikitina, “Modeling of Lightning Flashes in Thunderstorm Front by Constructive Production of Fractal Time Series”. In: *Advances in*

Intelligent Systems and Computing IV, vol. 1080, Springer, 2020, pp. 173-185/ doi: 10.1007/978-3-030-33695-0_13

7. P. Prusinkiewicz and A. Lindenmayer, "The algorithmic beauty of plants", Springer Science & Business Media, 2012.

8. V. Shynkarenko and A. Zhadan, "Modeling of the Deterministic Fractal Time Series by One Rule Constructors," 2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Zbarazh, Ukraine, 2020, pp. 336-339, doi: 10.1109/CSIT49958.2020.9321923.