

ФРАКТАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИ ЛІНГВІСТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Розглянуті особливості побудови лінгвістичних моделей часових рядів динамічних процесів з урахуванням фрактальних властивостей формальних граматики та L-систем.

Ключові слова: лінгвістичне моделювання, лінгвістична модель, часові ряди, фрактальна граMATика, L-системи.

І.В. БАКЛАН

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПРИ ЛИНГВИСТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрены особенности построения лингвистических моделей временных рядов динамических процессов.

Ключевые слова: лингвистическое моделирование, лингвистическая модель, временные ряды, фрактальные грамматики, L-системы.

I.V. BAKLAN

National Technical University of Ukraine "The Kyiv polytechnic institute"

FRACTAL PROPERTIES AT LINGUISTIC MODELLING OF DYNAMIC PROCESSES

The properties of construction linguistic models of dynamic processes time series.

Keywords: linguistic model, linguistic modeling, time series, fractal grammars, L-systems.

Постановка проблеми

Стоїть задача виявлення фрактальних властивостей часових рядів, породжуваних динамічними процесами, та побудова лінгвістичних моделей з використанням фрактальних формальних граматики та L-систем.

Аналіз публікацій з теми дослідження

Лінгвістичне моделювання на сьогодні використовується для моделювання різноманітних динамічних процесів, задач розпізнавання образів, задач медичної діагностики на основі побудованих лінгвістичних моделей.

Основна задача лінгвістичного моделювання - отримання лінгвістичних ланцюжків на основі часових рядів, породжуваних досліджуваними динамічними процесами [1,2].

Для опису фрактальних графічних образів були запропоновані L-системи [3,4,5]. Вперше поняття L-системи було введено угорським ботаником Арістідом Ліндермаєром у 1968 році при вивченні ним розвитку простих багатоклітинних організмів.

Пізніше це поняття було поширеним на моделювання складних структур, що гілкуються (дерева, квіти), формальні мови, біологічні моделі відбору, фрактали та ін.

Найпростішою з L-систем є детерміновані контекстно-вільні DOL-системи.

Фактично L-система складається з побудованого в результаті ітераційного процесу слова і алгоритму його графічного відображення. Перша частина цілком відповідає вимогам лінгвістичного моделювання.

В нашому випадку слово складається з символів-команд, що належать алфавіту $A = \{F, b, +, -, [\]\}$.

Алгоритм побудови слова полягає у наступному. До початкового слова $w^0 = w^0(F, b, +, -, [\])$ одночасно застосовуються породжувальні правила

$$F \rightarrow newF$$

$$b \rightarrow newb$$

тим самим породжуючи нове слово $w^1 = w^0(newF, newb, +, -, [\])$. При цьому слід зазначити, що не припускається послідовна заміна символів на одному кроці ітераційного процесу. Так, не можна у слові Fb правилами

$$F \rightarrow b$$

$$b \rightarrow F$$

замінити спочатку F на b , отримавши bb , а надалі замінити b на F , отримавши FF . За нашим розумінням результат повинен бути bF . Ці особливості функціонування заміни в L-системах відрізняються від формальних граматики Хомського.

Надалі ітераційний процес повторюється, породжуючи послідовність слів w^0, w^1, w^2, \dots .

Легко бачити, що породжувана послідовність буде мати складну внутрішню структуру символів.

Наприклад, з початкового слова $W^0 = F$ та породжуючих правил $newF = F + F$ $F + F$, $newb = b$ можна отримати наступні символні конструкції:

$$W^0 = F,$$

$$W^1 = F + F - -F + F$$

$$W^2 = F + F - -F + F + F + F - -F + F - -F + F - -F + F + F + F - -F + F, \dots$$

Алгоритми графічного відображення символних послідовностей називають черепаховою графікою. Якщо уявити черепаху у якості матеріальної точки на площині, а стан її трійкою (x, y, α) , де (x, y) - декартові координати на площині, а α - кут, відміряний від осі абсцис, в напрямку якого дивиться голова нашої Тортілли, то процес відбувається наступним чином. Спочатку черепашка знаходиться в нульовому стані - (x_0, y_0, α_0) , наступний крок робить у напрямку свого погляду на відстань $d > 0$, при цьому повертаючи голову на постійний кут $\theta > 0$. При цьому наша черепашка читає слово зліва направо, й в залежності від прочитаного символу виконує наступні команди:

F — пролізти на крок вперед, промальовуючи при цьому свій слід (відрізок прямої);

d — пролізти на крок вперед, не промальовуючи свого сліду;

+ - повернути голову на кут θ ;

- - повернути голову на кут $-\theta$;

[- запам'ятати свій чинний стан (x, y, α) (команда гілкування);

] - повернутися в останній запам'ятований стан.

Продемонструємо роботу нашої Тортілли на прикладі символних послідовностей W^0, W^1, W^2 , які ми

отримали у вищеведеному прикладі (рис.1 та рис. 2). При цьому маємо $\theta = \frac{\pi}{3}$.

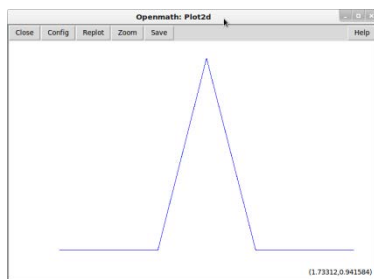


Рис.1. Відображення лінгвістичного ланцюжку

$$W^1 = F + F - -F + F$$

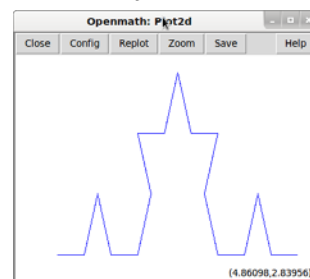


Рис. 2. Відображення лінгвістичного ланцюжку

$$W^2 = F + F - -F + F + F + F - -F + F - -F + F - -F + F + F + F - -F + F, \dots$$

Формулювання мети дослідження

Стоїть задача розробки методики створення лінгвістичної моделі з використання фрактальних формальних граматики для моделювання часових рядів породжуваних динамічними процесами.

Основна частина

Як ми уже зазначали, одним з представників фрактальних формальних граматики є L-системи. Наведемо загальну класифікацію L-систем (рис.3).

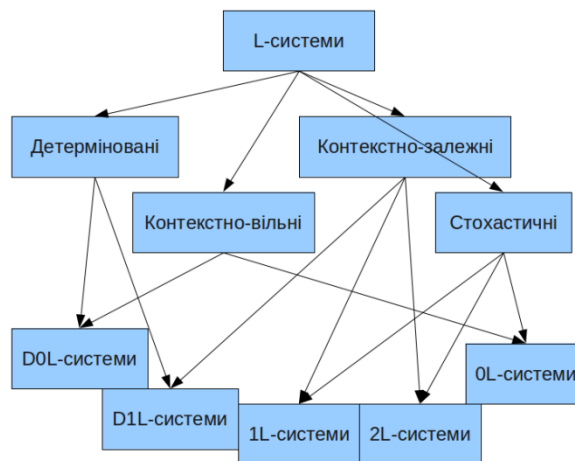


Рис.3. Загальна класифікація L-систем.

Згідно ще одного варіанту класифікації виділяють наступні види L-систем:

- детерміністичні контекстно-вільні системи;
- контекстно-залежні L-системи, де заміна символів залежить від найближчих сусідів;
- системи з гілкуванням з можливістю запам'ятовування стану черепашки та повернення до нього, а також вимальовування розгалужених структур;
- стохастичні системи з рандомізацією правил інтерпретації, а також з процесом побудови самої лінгвістичної послідовності;
- темпоральні системи з еволюціонуванням правил з часом;
- параметричні системи, в яких з кожним символом в лінгвістичному ланцюжку пов'язаний набір параметрів й заміна цього символу відбувається при виконанні логічних умов, що мають відношення до параметрів.

Коли в результаті інтервалізації та лінгвістизації часового ряду ми отримуємо лінгвістичні ланцюжки, важливим моментом є оцінка фрактальності отриманого результату.

Фрактальна розмірність у класичному розумінні – це число, яке кількісно описує те, як об'єкт, процес заповнює простір. Існує багато способів розрахунку фрактальної розмірності. Всі вони мають у своїй основі підрахунок об'єму або площі фрактального утворення в тому самому просторі, де виникає це утворення.

Розглянемо часовий ряд $\{x_i\}_{i=1, \dots, N}$, який описує деякий динамічний процес. Якщо рівні ряду x_i незалежні, то легко буде бачити відсутність яскравих трендів й поведінка динамічного процесу буде більш за все нагадувати «білий шум» (рис.4). У цьому випадку фрактальна розмірність буде спрямована до величини топологічної розмірності площини, тобто $Fr \rightarrow 2$. Якщо ж значення часового ряду не є незалежними, то фрактальна розмірність буде значно меншою за 2 (рис.5). Зміст цього полягає в тому, що часовий ряд нашого динамічного процесу має пам'ять, тобто в певних часових проміжках спостерігаються тренди різного гатунку, які змінюють періоди невизначеності.

Зовсім інша ситуація, коли ми маємо справу з лінгвістичними ланцюжками.

На упорядкованому алфавіті $A = \{\alpha_1, \dots, \alpha_M\}$ вводиться міра $\mu(\alpha_i) = f(i)$, де f - деяка функція від елемента алфавіту (його індексу).

Вводиться поняття відстані між елементами алфавіту $R[\alpha_i, \alpha_j] = \begin{cases} \mu(\alpha_i) - \mu(\alpha_j), & \text{якщо } i > j \\ \mu(\alpha_j) - \mu(\alpha_i), & \text{якщо } j > i \end{cases}$

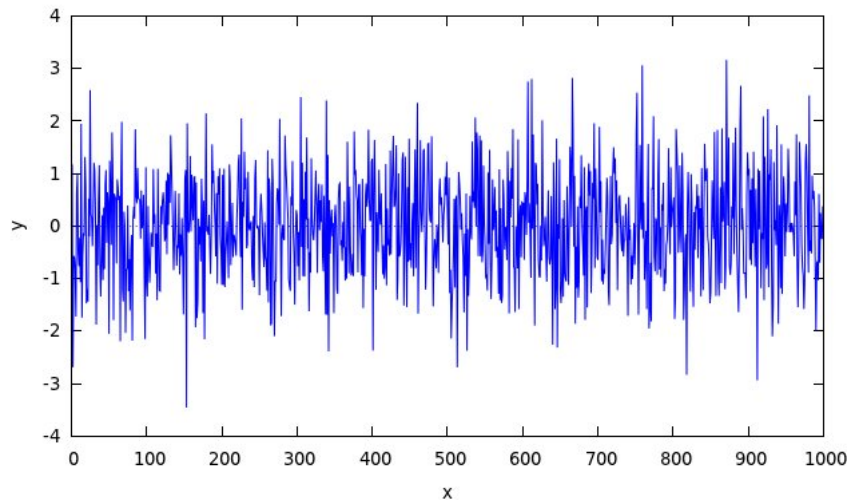


Рис.4. Ряд з фрактальною розмірністю $Fr \rightarrow 2$.

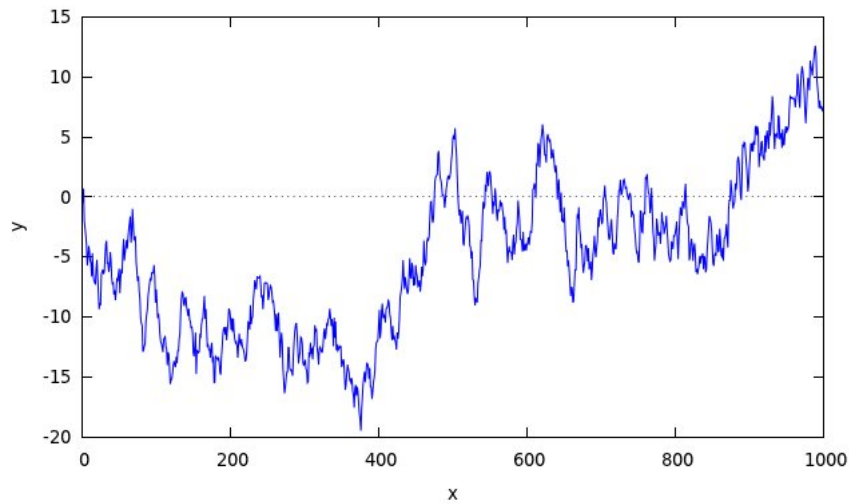


Рис.5. Ряд з фрактальною розмірністю $Fr \ll 2$.

Тоді, за аналогією чисельних рядів, вводимо показники фрактальності лінгвістичного ряду.

$$\mathcal{L}_H = 2 - \mathcal{H},$$

$$\mathcal{H} = \frac{\log\left(\frac{\mathcal{R}}{\mathcal{S}}\right)}{\log\left(\frac{\mathcal{N}}{\mathcal{Z}}\right)},$$

де $\mathcal{R} = \max\{\mu(\alpha_i) | \alpha_i \in \mathcal{A}\} - \min\{\mu(\alpha_i) | \alpha_i \in \mathcal{A}\}$, а \mathcal{S} – середньоквадратичне лінгвістичне відхилення лінгвістичного ряду.

Висновки

В статті був виконаний аналіз щодо виявлення фрактальних властивостей лінгвістичних ланцюжків динамічного процесу. Розглянуті особливості застосування L-систем для побудови лінгвістичних моделей з фрактальними властивостями.

Список використаної літератури

1. Баклан І. В. Лінгвістичне моделювання: основи, методи, деякі прикладні аспекти / І. В. Баклан // Систем. технології. - 2011. - № 3. - С. 10-19.
2. Баклан І. В. Інтервальний підхід до побудови лінгвістичної моделі / І. В. Баклан // Систем. технології. - 2013. - № 3. - С. 3-8.
3. Aristid Lindenmayer, "Mathematical models for cellular interaction in development." J. Theoret. Biology, 18:280—315, 1968.
4. Кроновер, Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории / Р. М. Кроновер. — М. : Постмаркет, 2000. — 352 с.
5. Трошин П. И. Моделирование фракталов в среде Maxima. Часть I. Фракталы на плоскости и в пространстве. Учебно-методическое пособие / П.И. Трошин. - Казань : КФУ, 2014. - 92 с.