

ВИДІЛЕННЯ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ТЕКСТУРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ МЕТОДА РЕКУРЕНТНОГО КІЛЬКІСНОГО АНАЛІЗУ

О.М.Ахметшин, М.Г.Комарова

Дніпропетровський національний університет
49050 м. Дніпропетровськ, пер. Науковий 13
Email: akhm@mail.dsu.dp.ua

АНОТАЦІЯ

У роботі розглянуто новий метод кількісного аналізу текстурних зображень, який ґрунтується на ідеї аналізу нелінійних динамічних процесів у багатовимірному фазовому просторі, що дозволяє підвищити чутливість аналізу. Подані результати досліджень на прикладах текстурних зображень та даних рентгеновської комп'ютерної томографії для виявлення ранніх стадій розвитку остеопорозу.

1. ВСТУП

Проблема аналізу текстурних зображень традиційно викликає велике зацікавлення та знаходиться на межі методів комп'ютерного бачення та штучного інтелекту. Особливо актуальною ця проблема виявляється при застосуванні до задач ранньої медичної діагностики та контролювання динаміки процесу лікування онкологічних захворювань. У роботі [1] було розглянуто підхід, заснований на ідеї відображення зрізів текстурних зображень у двовимірному просторі ядер Вольтерра другого порядку, а в роботі [2] для відображення одновимірних зрізів використана двовимірна площина кумулянтів третього порядку. Обидва розглянутих підходи є достатньо чутливими, але за своєю суттю подають апарат якісного аналізу, оскільки базуються на тому, що синтезовані зображення візуально відрізняються від еталонних.

Метою поданої роботи є подальший розвиток цього спрямування, але з напірним на підвищення загальної чутливості аналізу на основі кількісних характеристик, що обчислюються за допомогою метода рекурентного кількісного аналізу (РКА).

2. МЕТОД

РКА, запропонований Дж.П.Збілутом та Ч.Л.Веббером [3, 4], являє собою технологію для аналізу нелінійних динамічних сигналів. Головною перевагою метода є можливість його застосування до часових та просторових рядів незалежно від їх статистичної природи, наявності шуму від будь-якого джерела (самої системи або спостереження) та

довжини ряду. Метод РКА дає локальний огляд поведінки сигналу, надає можливість досліджувати короткочасову поведінку системи.

При дослідженні нелінійної динаміки процесів вважається, що змінні, які описують систему, змінюються за часом залежно одна від одної. Якщо систему описують за допомогою d змінних x_1, x_2, \dots, x_d , то така взаємозалежність може бути подана у формі вектора (x_1, \dots, x_d) . Але на практиці для багатьох систем можливо замірювати лише поведінку за однією змінною. Для подальшого дослідження динаміка такої системи повинна бути змодельована у відбудованому фазовому просторі. Процедура побудови такої моделі спирається на концепцію, що скалярний сигнал, що спостережується, є одновимірною проекцією динамічної поведінки системи, що подається d вимірами. Динаміка може бути реконструйована як багатовимірна за допомогою даних лише одного скалярного часового сигналу, який було спостережено. Для застосування процедури відбудови записані дані повинні являти собою квантований сигнал $s(n)$. Вектор $Y(n)$ формується з затриманих версій сигналу $s(n)$ [5]:

$$Y(i) = (s(i), s(i+1), \dots, s(i+(d-1)L)), \quad (1)$$

де d – обрана кількість вимірів, L – затримка. Теорема Такенса [6] встановлює математичне співвідношення між розмірністю побудованого вектора та реальною розмірністю атратора відповідної динамічної системи (D): $d=2D+1$, де d є мінімальною розмірністю, що забезпечує можливість реконструювання атратора. Під атратором розуміємо множину точок в фазовому просторі, на яку виходить система при нескінченному збільшенні часу спостереження. Наведене вище співвідношення є справедливим для детермінованих систем при відсутності шуму. При наявності шуму від будь-якого джерела (самої системи чи вимірювання) необхідний більш високий порядок.

Технологія рекурентного кількісного аналізу не передбачає побудовання атратора у реконструйованому фазовому просторі, але на основі даних, достатніх для цього, дозволяє визначити деякі

показники хаотичності системи (ентропію процесу та значення максимальної експоненти Ляпунова).

Рекурентний кількісний аналіз ґрунтується на обчисленні матриці Євклідових відстаней D_{ij} між всіма можливими комбінаціями пар рядків відбудованої матриці $Y(n)$.

$$D(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (i_k - j_k)^2}, \quad (2)$$

де i, j – вектори, що відповідають рядкам матриці $Y(n)$, n – розмірність цих векторів.

Отримана матриця використовує функцію Хевісайда для значень відстаней між скалярними рядами, що є меншими за деякий напередвизначений поріг. За значеннями, що повертає така функція, будується графік, що носить назву рекурентного, а затемнені точки на ньому, які відповідають відстаням, меншим за значення порогу, – рекурентних точок. Графічне подання являє собою квадратну матрицю з затемненою головною діагоналлю ($D_{ij}=D_{ji}$) та може бути розглянуте як глобальна автокореляційна структура системи. Найбільш важливими для розглядання є рекурентні точки, що утворюють діагональні структури, які є паралельними відносно головної діагоналі. Наявність ділянок с такими структурами на рекурентному графіку вказує на наявність детермінізму у динамічному процесі, що розглядається.

На основі побудованого рекурентного графіка можуть бути обчислені дескриптори динамічного процесу.

Оскільки рекурентний графік є симетричним відносно головної діагоналі, до розглядання залучається тільки верхня трикутна область за виключенням нульових євклідових відстанів, що утворюють головну діагональ.

1. Рекурентність (R) являє собою відношення кількості затемнених (рекурентних) точок до загальної кількості точок у верхній трикутній області графіка. Рекурентні точки відповідають "рівнинам" фазового простору, в таких точках значення величини, що спостерігається, визначається початковими умовами (детерміновано процедурою введення), відповідно, величина, що дорівнює $100-R$, визначає пропорцію точок, значення в яких зумовлено стохастичною поведінкою системи.

$$R = \frac{N_r}{N}, \quad (3)$$

де N_r – кількість рекурентних точок, N – загальна кількість точок.

2. Детермінізм (D) визначає відсоток рекурентних точок, які утворюють на графіку лінії, паралельні головної діагоналі. Наявність діагональних ліній є сигнатурою детермінованої структури системи. Значення цього параметру визначається у значній мірі напередвизначеним параметром LINES, що вказує, яку кількість підряд розташованих точок слід вважати лінією.

$$D = \frac{N_d}{N_r}, \quad (4)$$

де N_d – кількість рекурентних точок, що формують діагональні структури, N_r – кількість рекурентних точок.

3. Ентропія (E) розподілення довжини діагоналей, паралельних головної, є мірою невизначеності (хаотичності) ймовірносної системи. По мірі наближення системи до стану рівноваги значення ентропії зростає. Визначається за формулою Шеннона для інформаційної ентропії.

$$E = \sum_{i=1}^n P_i \log_2 \frac{1}{P_i} \quad (5)$$

4. Максимальна довжина діагональної лінії (M) зворотно пропорційна максимальній експоненті Ляпунова (L) для процесу, що розглядається,

$$L = \frac{1}{M} \quad (6)$$

являє собою міру швидкості розходження сусідніх траєкторій у фазовому просторі, тобто швидкість "забування" початкових умов системи (ступень "самостійності" поведінки системи). Аналіз цього показника дозволяє оцінити можливість передбачення подальших значень ряду.

5. Тренд локальної рекурсії (T) є мірою стаціонарності процесу, визначає міру зміни густини рекурентних точок в напрямку від головної діагоналі графіка. Стаціонарним сигналам відповідає близьке до нуля значення цього показника.

3. Застосування

запропонованого методу

Метод РКА був застосований для оцінки стохастичних процесів, поданих текстурними зображеннями та томографічними знімками кісток людини, хворої на остеопороз.

Текстурні зображення, обрані для порівняння, подані на Рис.1.

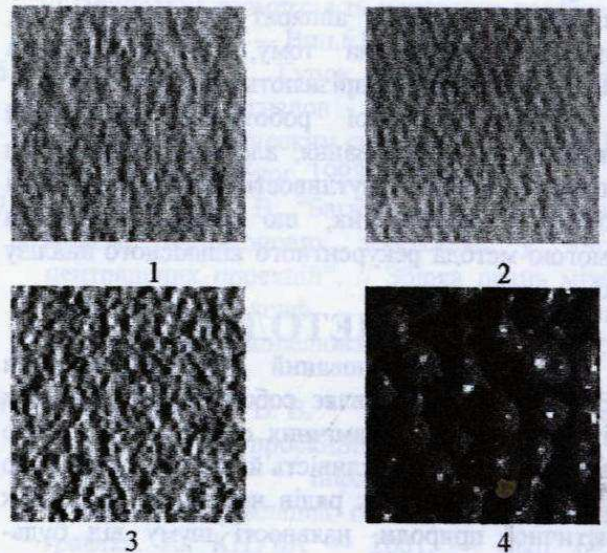


Рис.1. Текстурні зображення

Оскільки метод РКА призначений для оцінювання рядів даних, для визначення параметрів текстурних зображень потрібно працювати з їх зрізами. Зріз зберігає інформацію про спектральний склад текстури, але втрачаються дані про об'єкти, що присутні на зображенні.

Поданим текстурним зображенням відповідають рекурентні графіки, приведені на Рис.2.

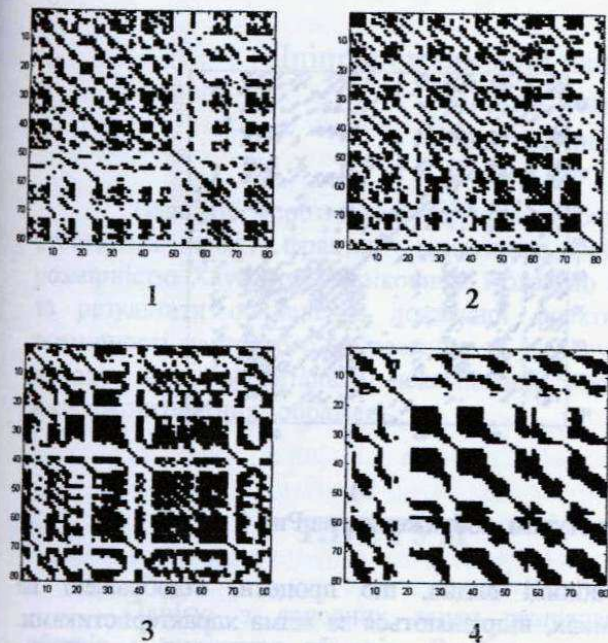


Рис.2. рекурентні графіки, побудовані для зрізів текстур, зображених на Рис.1.

Графіки, що мають структуру майже однорідної густини, відповідають рядам з невеликою дисперсією значень. Пробіли у рекурентному графіку свідчать про наявність "скачків" даних у розглянутій послідовності. для значення

відбудованої розмірності більше одиниці така залежність переноситься на поведінку траєкторій у фазовому просторі. Для побудовання рекурентних графіків (Рис.3) була обрана розмірність $d=2$, оскільки при виборі одиничної розмірності кількісні показники зображень 1 та 2 відрізняються на незначні величини. При обиранні занадто малої розмірності відбудованого фазового простору деяка інформація про структуру даних може бути загублена. Значення порогу визначення рекурентних точок дорівнює 20 відсотків від максимальної з отриманих евклідових відстаней. У Табл.1 наведені п'ять основних дескрипторів РКА та величина, зворотна довжині максимальної діагональної лінії на графіку, яка відповідає максимальній експоненті Ляпунова для процесу, що розглядається.

На основі кількісних характеристик текстурних зображень можна зробити висновки про характер процесів, які вони відображають. По-перше, як за візуальною оцінкою, так і за кількісним аналізом рекурентних графіків схожі початкові зображення виявляються досить різними. Найбільше значення параметру R відповідає текстурі 3, найменше – текстурі 1, тобто вона виявляє найбільш стохастичну поведінку. За коефіцієнтом детермінізму D більш детермінований процес серед усіх розглянутих являє текстура 4, текстура 3 має найменшу швидкість "забування" початкових умов. Ентропія текстури 4 найбільша, що свідчить про те, що процес, який вона відображає, знаходиться ближче до стану рівноваги, ніж решта розглянутих. З точки зору стаціонарності найближче до нуля значення тренду локальної рекурсії відповідає текстурі 1.

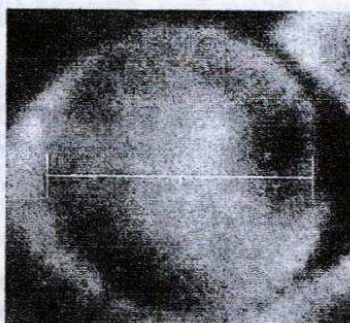
Кількісні характеристики аналізованих текстур

Таблиця 1

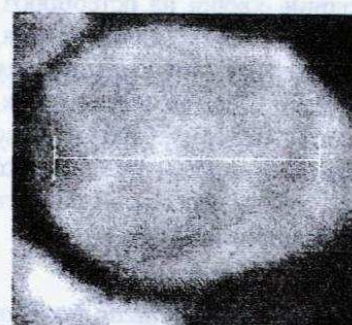
	R	D	M	L	E	T
текстура 1	27.500	21.473	16	0.0625	1.890	9.066
текстура 2	29.475	26.492	12	0.0833	2.392	78.586
текстура 3	42.469	42.078	19	0.0526	2.527	141.510
текстура 4	29.557	64.240	16	0.0625	2.970	34.566

Метод РКА був застосований також для аналізу томографічних знімків двох кісток людини (Рис.3), які знаходяться на різних ступенях

захворювання на остеопороз. Білі лінії на зображеннях вказують розташування на знімках зрізів, які були взяті для аналізу.



a)

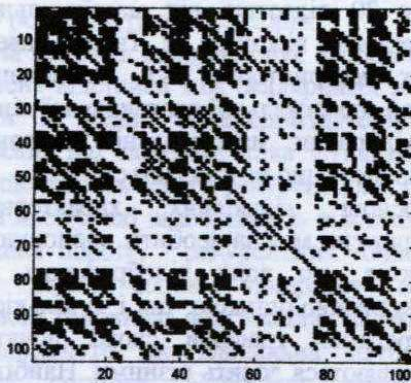


b)

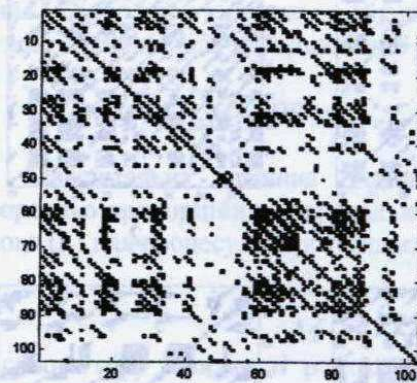
Рис.3. Томографічні знімки кісток людини
a) – нормальна кістка, b) – кістка, хвора на остеопороз.

Предметом розглядання є знаходження та зіставлення кількісних характеристик цих знімків з метою виділення характерних ознак, які б відрізняли їх один від одного. Як і при аналізі текстурних зображень, кількісні характеристики обчислені для зрізів. Перетворення двовимірного зображення на одновимірний сигнал хоча і відповідає умовам застосування методу, але при такому поданні повністю загублюється

достовірність інформації – обробці підлягає вже деякий періодичний ряд. Оскільки кістка має пористу структуру, деякі ознаки повинні зберігатися на обох зображеннях, і відхилення значень кількісних показників буде незначним. Тому для дослідження були взяті градієнтні перетворення зрізів зображень (тільки високочастотні компоненти).



a)



b)

Рис. 4. Рекурентні графіки, що відповідають текстурам, зображеним на Рис. 4

Для побудовання рекурентних графіків, поданих на Рис. 4, були обрані такі вхідні параметри: відбудована розмірність дорівнює трьом, поріг рекурентних відстаней – 30 відсотків від максимальної евклідової відстані для кожного зображення, лінією вважаються розташовані поряд 10 рекурентних точок. Кількісні характеристики, обчислені для графіків (Рис. 4), наведені у Таблиці 2.

З таблиці видно, що процеси, відображені на знімках, відрізняються за всіма характеристиками. Кістка на зображенні b, яка знаходиться на більш пізньому ступені захворювання, являє собою процес, який є менш стаціонарним та детермінованим, ніж процес, що відображений на знімку a, але водночас більш залежить від "початкових умов".

Таблиця 2

Кількісні характеристики аналізованих зображень

	R	D	M	L	E	T
Зображення a	55.797	38.315	23	0.0435	3.264	108.598
Зображення b	34.875	12.828	17	0.0588	2.247	123.867

4. ВИСНОВКИ

В ході роботи проілюстровано застосування методу РКА для підвищення чутливості та отримання кількісних характеристик зображень. Метод був успішно застосований для аналізу текстурних зображень. Результати аналізу томографічних знімків двох кісток людини, хворої на остеопороз, які знаходяться на різних ступенях захворювання, підтвердили можливість застосування методу для медичної діагностики навіть на ранніх стадіях. Зручність підходу полягає в тому, що аналізу підлягають дані, не описані за допомогою будь-якої математичної моделі. Це робить область застосування методу дуже широкою.

ЛІТЕРАТУРА

[1]. Akhmetshin A.M., Shutin D.V., *Nonlinear model of qualitative classification on base of wave-packet decomposition in space of Volterra kernels*, UkrOBRAZ'2000, Kyjiv, pp. 153-156, 2000.

[2]. Akhmetshin A.M., Mikhalev D.A., *Classification of texture images with the usage of artificial neural nets and higher-order statistics*, UkrOBRAZ'2000, Kyjiv, pp. 173-176, 2000.

[3]. Manetti, C., M.-A. Ceruso, A. Giuliani, C.L. Webber, Jr., and J.P. Zbilut (1999). "Recurrence quantification analysis as a tool for the characterization of molecular dynamics simulations", *Physical Rev. E*. 59: pp. 992-998.

[4]. Manetti, C., A. Giuliani, M.-A. Ceruso, S. Cannistraro, C. L. Webber, Jr., and J.P. Zbilut (2001). "Recurrence analysis of hydration effects on nonlinear protein dynamics: multiplicative scaling and additive processes". *Phys. Lett. A* 281: 317-323

[5]. F. Takens, *Dynamical Systems and Turbulence* (D.A. Rand and L.-S. Young, eds.) pp. 366-381. (Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 1980).

[6] П. Берше, И. Поло, К. Видаль, *Порядок в хаосе*, - М.: Мир, 1991. - с.366