

УДК 602.1:616-071(043.2)

АНАЛІЗ РЕКУРЕНТНИХ ДІАГРАМ БІОМЕДИЧНИХ СИГНАЛІВ

Таїсія Золотенкова

*Національний авіаційний університет, Київ**Науковий керівник – Михайло Буриченко, к. т. н, доц.*

Ключові слова: біомедичний сигнал, динамічна система, нелінійний метод, рекурентна діаграма, фазовий простір

Вступ. Біомедичні сигнали відображають властивості систем організму людини. Такі динамічні системи дуже складні, нестационарні і нелінійні, що потребує нових методів аналізу, зокрема методів нелінійної динаміки. Одним таких перспективних методів є метод рекурентних діаграм, що підвищують інформативність висновків про стан людського організму за допомогою візуалізації стану його систем і обчислення їх характеристик.

Матеріали та методи. Рекурентні діаграми (РД) служать для виявлення хаотичності або періодичності процесу в динамічних системах, а також для візуалізації прихованих закономірностей в досліджуваних біомедичних сигналах (часових рядах) [1, 2]. Аналізований сигнал є відображенням роботи динамічної системи у фазовому просторі. Зазвичай фазовий простір динамічних систем є більшим за тривимірний і його можна подати візуально лише шляхом проєкції на дво- чи тривимірні простори. Метод РД дозволяє досліджувати m -вимірний фазовий простір траєкторії через двовимірне графічне подання її рекурентності (повторення станів). РД є графічним зображенням матриці розміром $N \times N$, в якій чорна точка на графіку відповідає повторенню стану в певний момент часу i та інший момент час j , координатні осі є осями часу [1]. РД описують рівнянням:

$$R_{i,j}^{m,\varepsilon_i} = \theta(\varepsilon_i - \|x_i - x_j\|), \quad i, j = 1 \dots N,$$

де N – кількість розглянутих станів x_i ; ε_i – розмір околиці точки x в момент i ; $\| \quad \|$ – норма вектора; $\theta(\quad)$ – функція Хевісайда.

При візуальному оцінюванні стану динамічних систем застосовують топологію і текстуру РД, а обчислення кількісних мір РД – кількісний рекурентний аналіз [3] дозволяє уникнути суб'єктивних оцінок стану системи.

Результати. Розроблено методику аналізу біомедичних сигналів із застосуванням РД. В методиці описано критерії вибору вхідних параметрів для обчислення і побудови РД, описано кількісні міри РД, що обрані для кількісного рекурентного аналізу. Для обчислення РД, їх візуалізації, обчислення кількісних мір РД в системі MATLAB розроблено програмне забезпечення на базі Cross Recurrence Plot Toolbox for Matlab [4]. Досліджувані біомедичні

сигнали отримано із баз даних [5]. Приклади РД для двох електрокардіографічних сигналів наведено на рис. 1.

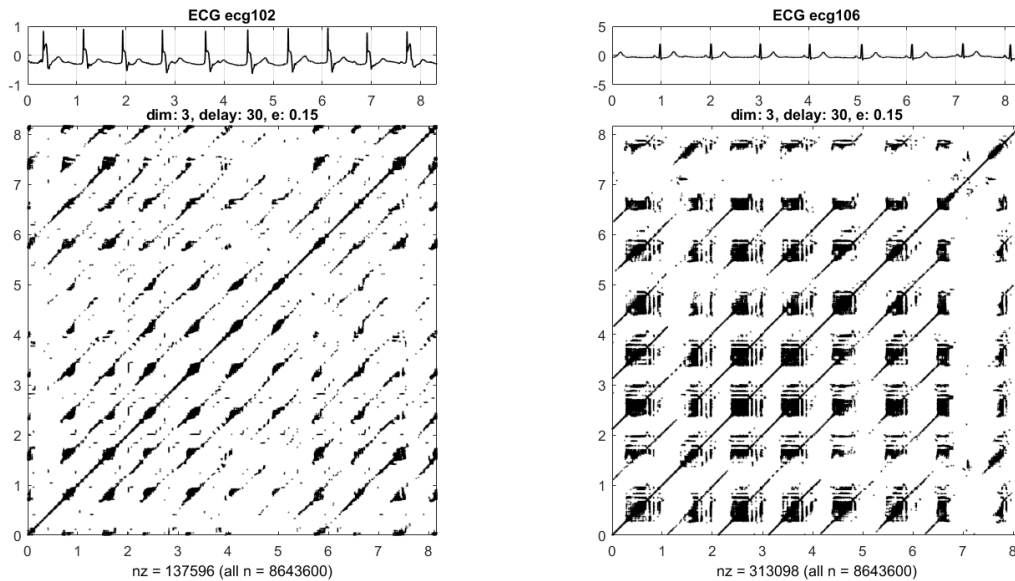


Рис. 1. Рекурентні діаграми електрокардіографічних сигналів

Вхідні параметри рекурентного аналізу – час затримки і розмірність вкладення – для електрокардіографічних сигналів мало відрізняються, тому є змога вибрати однакові значення цих параметрів для всіх досліджуваних сигналів. Вибір порогу рекурентності значно впливає на вид РД і значення її кількісних мір.

Висновки

РД і кількісний рекурентний аналіз можуть бути застосовані для отримання діагностичної інформації від електрокардіографічних сигналів. Візуальний аналіз РД дає змогу оцінити еволюцію стану серцево-судинної системи, отримати загальну динамічну картину. Переваги методу РД: наочність, незалежність від розмірності динамічної системи; метод не використовує додаткову інформацію. Наочність результатів дозволяє широко застосовувати РД при аналізі складних динамічних систем різного походження.

Список використаних джерел

1. Knight A. P., Kennedy D. M. & McComb S. A. (2016). Using recurrence analysis to examine group dynamics. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*, 20, 223-241.
2. Ладанюк А. П. Системний аналіз складних систем управління / А. П. Ладанюк, Я. В. Смітюх, Л. О. Власенко та ін. – К.: НУХТ, 2013.
3. Webber CL Jr (2005) The Meaning and Measurement of Physiologic Variability? *Crit. Care Med.*
4. Набір інструментів MATLAB. URL: <https://tocsy.pik-potsdam.de/CRPtoolbox/>
5. База даних серцевих коливань. URL: <https://physionet.org/content/szdb/1.0.0/>