

Аналіз біомедичних сигналів методом рекурентних діаграм

Стеценко Ярослава Василівна
Науковий керівник - Буриченко Михайло Юрійович
ННІ інформаційно-діагностичних систем
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
yaroslava.stecenko@gmail.com

Анотація — запропоновано використання рекурентних діаграм для дослідження аналізу біомедичних сигналів. Розглянута можливість кількісного рекурентного аналізу для виявлення діагностичних ознак в біомедичних сигналах.

Ключові слова — біомедичні сигнали, аналіз сигналів, рекурентна діаграма, фазовий простір, кількісний рекурентний аналіз.

I. ВСТУП

Дослідження складних динамічних систем, як природних, так і штучних, показали, що в їх основі лежать нелінійні процеси, ретельне вивчення яких необхідне для оцінювання характеристик і моделювання таких систем. Однак більшість методів нелінійного аналізу вимагають достатньо довгих і стаціонарних рядів даних, які досить важко отримати при спостереженні, і дають задовільні результати для ідеалізованих моделей реальних систем. Ці фактори вимагають розробки нових методик нелінійного аналізу даних [1].

ОСНОВНА ЧАСТИНА

В останні десятиліття розвинувся оригінальний метод дослідження динамічних систем, заснований на фундаментальній властивості дисипативних динамічних систем - рекурентності (повторюваності) станів. Ця властивість виражається в тому, що, не дивлячись на те, що навіть найменше збурення в складній динамічній системі може привести систему до експоненціального відхилення від її стану, через деякий час система прагне повернутися до стану, деяким чином близькому до попереднього, і проходить при цьому подібні етапи еволюції. Більш того, рекурентність станів в сенсі проходження подальшої траєкторії досить близько до попередньої, є фундаментальною властивістю детермінованих динамічних систем.

Форма фазової траєкторії стану системи дозволяє судити про характер процесу (періодичні або хаотичні процеси мають характерні фазові портрети) і для визначення стану системи не обов'язково проводити інтегрування рівнянь стану, а достатньо побудувати графічне зображення траєкторії.

Як правило, розмірність фазового простору складної динамічної системи більша трьох, що робить практично незручним його розгляд безпосередньо. В роботі [2] було запропоновано спосіб відображення m -вимірної фазової траєкторії станів системи на двовимірну квадратну двійкову матрицю розміром $N \times N$, в якій 1 (чорна точка на графіку) відповідає повторенню стану при деякому часі i в деякий інший час j , а обидві координатні осі є осями часу. Таке представлення було названо рекурентною діаграмою (recurrence plot, RP).

Математично вищесказане описується як

$$R_{i,j}^{m,\varepsilon_i} = \Theta(\varepsilon_i - \|\vec{x}_i - \vec{x}_j\|), \vec{x} \in R^m, i, j = 1, \dots, N,$$

де N – кількість розглянутих станів x_i ; ε_i – розмір околиці точки \vec{x} в момент i , $\|\cdot\|$ – норма вектора; $\Theta(\cdot)$ – функція Хевісайда.

Візуально рекурентні діаграми (РД) можуть надати деякі корисні уявлення про динаміку біомедичних систем. Проте, графічні зображення з недостатньою роздільною здатністю для відображення РД призводять до того, що в клінічних дослідженнях біомедичних систем на основі аналізу їх сигналів користувачі, як правило, суб'єктивно інтерпретують шаблони та структури на РД, що призводить до можливих помилок в діагностуванні.

Подолати суб'єктивність методології РД дозволяють кількісні оцінки структур РД. Кількісний рекурентний аналіз [3] базується на структуруванні діагональних ліній у РД і визначає декілька числових характеристик складності вказаних структур. Метод РД запропоновано використовувати для оцінювання стану серцево-судинної і нервової систем людини.

ВИСНОВКИ

Таким чином, рекурентний аналіз може слугувати для кількісної оцінки динаміки біомедичних систем. Рекурентні діаграми візуалізують багатовимірні фазові траєкторії, навіть у випадку коротких і нестационарних даних, а за видом геометричних структур можна простежити еволюцію у часі стану серцево-судинної і

нервової систем людини. Такий графічний інструмент дає змогу бачити динамічну картину загалом.

Отже, застосування методу рекурентних діаграм в аналізі біомедичних сигналів має наступні переваги: однакова робота з даними будь-якої розмірності, не критичність до джерела і якості даних, маргінальність (метод не вносить додаткову інформацію «від себе»), наочність результатів - дозволяють застосовувати його досить широко при аналізі і вивченні складних динамічних систем абсолютно різної природи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Кануников И.Е., Белов Д.Р., Гетманенко О.В. Влияние геомагнитной активности на электроэнцефалограмму человека // Экология человека. 2010. №6., - С. 6-11.
- [2] Eckmann J.-P., Kamphorst S.O., Ruelle D. Recurrence Plots of Dynamical Systems. // Europhysics Letters. 1987. 5. P. 973–977.
- [3] Zbilut J.P., Giuliani A., Webber Jr.C.L. Detecting deterministic signals in exceptionally noisy environments using cross-recurrence quantification. // Physics Letters. 1998. A 246 (1–2). P. 122–128.