

Аналіз електрокардіосигналу за допомогою рекурентних діаграм

Маначин Марія Іванівна

Науковий керівник – Буриченко Михайло Юрійович
ННІ інформаційно-діагностичних систем
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
mariya.manachyn@gmail.com

Тишковець Карина Олексіївна

Науковий керівник – Буриченко Михайло Юрійович
ННІ інформаційно-діагностичних систем
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
mariya.manachyn@gmail.com

Анотація — робота присвячена розгляду проблеми діагностики та лікування серцево-судинних захворювань. В роботі запропоновано метод аналізу кардіосигналів з використанням рекурентних діаграм. Основною перевагою запропонованого інструменту рекурентних діаграм є здатність візуалізувати багатовимірні фазові траєкторії, навіть у випадку коротких і нестационарних даних, а по виду геометричних структур можна простежити еволюцію в часі обраного процесу.

Ключові слова — біосигнали, електрокардіографічний сигнал, рекурентна діаграма; детермінізм; ламінарність.

I. ВСТУП

У сучасній медицині проблема діагностики та лікування серцево-судинних захворювань, що негативно впливають на організм людини в цілому і сприяють підвищенню захворюваності та смертності набуває актуального значення. Сучасна кардіологія має багато проблем пов'язаних з тим, що якісний аналіз електрокардіограм зі стандартних відведень не дозволяють виявляти деякі патології серця. Основним методом оцінки електрокардіограм у функціональній діагностиці є візуальний метод.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

В даній роботі запропоновано аналізувати властивості біомедичних сигналів з використанням рекурентних діаграм. Рекурентна діаграма є графічним масивом точок $N \times N$, де ненульовий елемент з координатами (i, j) відповідає випадку, коли $x(j)$ знаходиться досить близько до $x(i)$. [1]

Рекурентні діаграми спрощують виявлення екстремальних і рідкісних подій. Загальне уявлення про характер досліджуваного процесу дає топологія рекурентних діаграм. Виділяють чотири різних класи топологій:

- однорідні рекурентні діаграми типові для стаціонарних і автономних систем, в яких час релаксації малий у порівнянні з довжиною ряду;

періодичні структури, що повторюються (діагональні лінії, візерунки у шаховому порядку) відповідають системам з періодичністю в динаміці;

- дрейф відповідає системам з параметрами, що поволі змінюються, що робить білими лівий верхній і правий нижній кути рекурентної діаграми;

- різкі зміни в динаміці системи, рівно як і екстремальні ситуації, обумовлюють появу білих областей або смуг. [2]

Вказані топології наведено на рис. 1

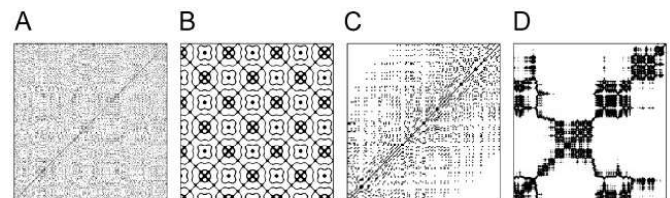


Рис. 1 Топології рекурентних діаграм: А – однорідні; В – періодичні; С – дрейф; D – різкі зміни в динаміці.

Текстура рекурентних діаграм включає: точки, діагональні лінії, вертикальні (горизонтальні) лінії (рис. 2).



Рис. 2 Текстури рекурентних діаграм

Ці структури використовуються для обчислення мір кількісного аналізу рекурентних діаграм (recurrence quantification analysis, RQA). [3] Для аналізу біосигналів використовувались такі міри рекурентних діаграм.

Міра замирання (laminarity, LAM) визначається відношенням кількості рекурентних точок, які утворюють вертикальні лінії, до загальної кількості рекурентних точок. LAM характеризує початковий стан замирання системи, тобто, відображає рівень ламінарності (турбулентності) системи. Середня довжина вертикальних структур називається мірою зупинки часу (trapping time, TT) та характеризує середній час, який система може провести у визначеному стані.

Міра максимальної довжини вертикальних структур аналогічна мірі максимальної довжини діагональних структур. Діагональні лінії з'являються у випадку, коли сегмент траєкторії проходить практично паралельно іншому сегменту, тобто траєкторія проходить у колі визначеного радіуса впродовж іншого сегмента. Довжина таких ліній визначається часом, протягом якого сегменти траєкторії залишаються паралельними.

Детермінізм (DET) – частка рекурентних точок у діагональних лініях та усіх рекурентних точок. Оцінює рівень детермінованості системи. Процеси зі стохастичною поведінкою можуть породжувати дуже короткі діагоналі, або взагалі не породжувати їх, в той же час як детерміновані процеси дають довгі діагоналі і малу кількість окремих рекурентних точок.

Міра рекурентності (recurrence rate RR) – міра рекурентності показує ймовірність знаходження рекурентної точки на РД і (ймовірність повторення стану).

Для дослідження та порівняння кількісних мір рекурентних діаграм електрокардіографічних сигналів було взято ЕКГ сигнали різних пацієнтів.[4]

На основі вищеописаного методу аналізу біосигналів з використанням рекурентних діаграм, можемо скласти таблицю характеристик кількісних мір рекурентних діаграм електрокардіографічних сигналів.

Результати порівняння наведених кількісних мір рекурентних діаграм ЕКГ сигналів наведені на рис. 3-4. і табл.1.

Таблиця 1. Кількісні міри рекурентних діаграм електрокардіографічних сигналів

Кількісні міри	Сигнали ЕКГ	
	ecg117.txt	ecg208.txt
RR (recurrence rate)	0,108	0,154
DET (determinism)	0,710	0,833
$\langle L \rangle$	3,015	5,612
Lmax	20,000	87,000
ENTR (entropy)	1,395	2,319
LAM (laminarity)	0,830	0,923
TT (trapping time)	3,651	7,737
Vmax (maximal vertical line length)	19,000	80,000

Порівняння рекурентних діаграм та кількісних мір електрокардіографічних сигналів наведені на рис. 3 та рис.4.

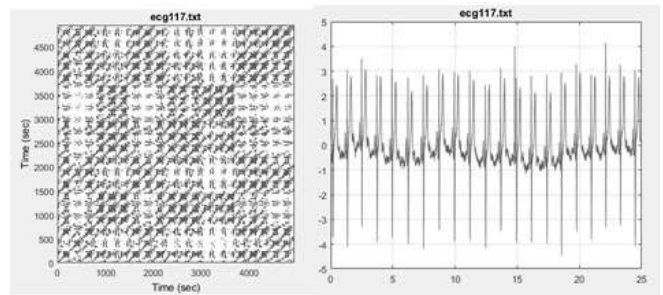


Рис.3. Рекурентні діаграми сигналу ecg117.txt.

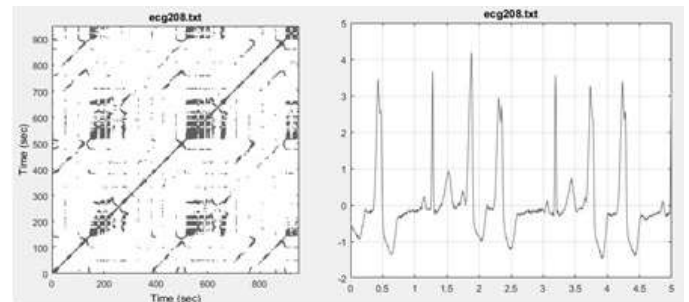


Рис.4. Рекурентні діаграми сигналу ecg208.txt.

Рекурентні діаграми дають змогу досліджувати m -вимірну траєкторію фазового простору з допомогою двовимірного представлення рекурентності і можливість бачити рекурентну картину в цілому. Виявлено, що ефективність методів залежить від статистичних властивостей сигналів.

Для аналізу електрокардіограм можуть бути використані: міра замирання системи (LAM), час затримки (TT), довжина горизонтальних ліній (V_{max}). Розглянувши поведінку цих мір для різних ЕКГ – сигналів можна стверджувати, що візуальний аналіз міри LAM дозволяє розпізнавати різні періоди функціонування роботи серця. Коли серце знаходиться у нормальному стані, траєкторія міри має горизонтальний тренд у деякому діапазоні. Падіння LAM свідчить про наявність деяких відхилень при роботі серця (патологію), а підвищення – про релаксацію та відновлення. Інші міри не мають такої чіткої динаміки, ідентифікувати точки переходу між періодами досить складно. Тому з усіх мір рекурентного кількісного аналізу LAM є найбільш придатною для дослідження стану роботи серця і найбільш інформативною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные методы нелинейной динамики. //Эдиториал УРСС, Москва, 2000
- [2] Псеунок А.А. Анатомия мозга. Спецкурс. - Майкоп: изд-во ООО «Аякс», 2003. - ПО с.
- [3] Меклер А.А. Применение аппарата нелинейного анализа динамических систем для обработки сигналов ЭЭГ. // Актуальные проблемы современной математики: учёные записки. Т. 13 (вып. 2) под ред. проф. Калашникова Е.В., изд. ЛГУ им. А.С. Пушкина, С.-Пб., 2004 г., 153 стр., стр. 112 - 140.
- [4] Кузнецов С. П. Динамический хаос (курс лекций). - М.: Физматлит, 2001.-295 с.