

Новый метод диагностики фазовой синхронизации контуров вегетативного контроля кровообращения в реальном времени*

*А. В. Курбако¹✉, Е. И. Боровкова^{1,2}, А. Н. Храмов¹,
Д. М. Ежов¹, Д. Д. Кульминский^{1,2}*

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

²Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН

✉ kurbako.sasha@mail.ru

Анализ нестационарных сигналов является важной задачей современной нелинейной динамики [1]. Однако, анализ временных рядов сложных объектов требует разработки специализированных методов [2]. Важными примерами таких систем являются объекты биологической природы, в частности, элементы сердечно-сосудистой системы (ССС) человека.

Ранее был предложен метод диагностики участков фазовой синхронизации по сигналам ССС. Метод основан на оценке углового коэффициента аппроксимирующей прямой сигнала мгновенной разности фаз $\Delta\varphi(t)$ в скользящих окнах шириной b_α . Интервал диагностируется как участок фазовой синхронизации, если его длительность более l_α и $|\alpha_i| \leq |\alpha_0|$, где α_0 – пороговое значение [3]. Метод имеет ряд недостатков, среди которых невозможность априорно оценить значения свободных параметров, квадратичная сложность и использование при расчётах арифметики с плавающей точкой.

Предлагаемый подход развивает идеи, предложенные в [4]. Метод основан на усреднении значений мгновенной разности фаз $\Delta\varphi(t)$ в скользящих окнах шириной w . Пусть h_i – усреднённое значение для i -го окна. i -е окно диагностируется как интервал фазовой синхронизации, если $\Delta h_i = |h_i - h_{i-1}| \geq h$, где h – пороговое значение. Параметры нового метода, в отличие от предложенного ранее, могут быть оценены из априорных соображений о данных.

Для настройки и проверки сравниваемых методов использовалась модель генерации тестовой мгновенных разностей фаз $\Delta\varphi(t)$, аналогичный [5]. Имея априорную информацию о положении участков синхрони-

*Работа поддержана РФФИ, грант № 20-02-00702 и МК-2723.2021.4.

зации были построены ROC-кривые (рис. 1). Видно, что новый метод имеет схожие статистические свойства, что и предложенный ранее. Для количественного сопоставления результатов ROC-анализа рассчитывался индекс AUC. Для известного метода AUC составило 0.91, а для разработанного нами подхода AUC – 0.90. Однако, меньшая вычислительная сложность и возможность априорной оценки параметров позволяет использовать новый метод при решении задачи построения носимой малогабаритной аппаратно-программной системы скрининг-анализа данных в реальном времени.

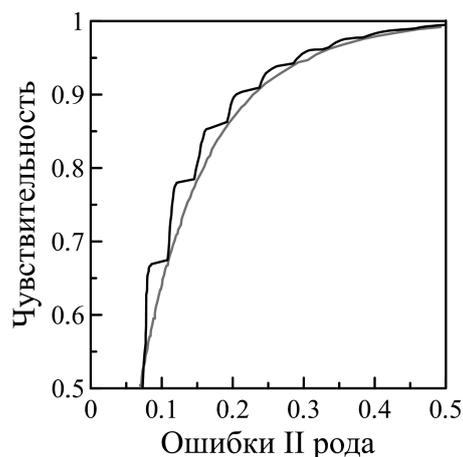


Рис. 1. ROC-кривые, построенные в ходе сопоставления методов. Черная линия – известный метод, серая линия – предложенный подход

Список литературы

1. *Pikovsky A., Rosenblum M., Kurths J.* Synchronization: A universal concept in nonlinear sciences//Cambridge: Cambridge University Press. 2001. 411 с.
2. *Безручко Б. П., Смирнов Д. А.* Математическое моделирование и хаотические временные ряды // Саратов: ГосУНЦ «Колледж». 2005. 299 с.
3. *Karavaev A. S., Prokhorov M. D., Ponomarenko V. I., Kiselev A. R., Gridnev V. I., Ruban E. I., Bezruchko B. P.* Synchronization of low-frequency oscillations in the human cardiovascular system//Chaos. 2009. Vol. 19. P. 033112.
4. *Боровкова Е. И., Карavaев А. С., Киселев А. Р., Шварц В. А., Миронов С. А., Пономаренко В. И., Прохоров М. Д.* Метод диагностики синхронизованности 0.1-Гц ритмов вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы в реальном времени // Анналы аритмологии. 2014. Т. 11, №. 2. P. 129–136.
5. *Боровкова Е. И., Карavaев А. С., Пономаренко В. И., Прохоров М. Д.* Сопоставление методов диагностики фазовой синхронизованности по тестовым данным, моделирующим нестационарные сигналы биологической природы // Известия Саратовского университета Новая серия Физика. 2015. Т. 15. В. 3. С. 36–42.