



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

Д.А. Аржаев, О.Н. Бодин, Н.В. Громков, В.Г. Полосин, М. И. Сафронов

ЭНТРОПИЙНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

(Пензенский государственный университет)

В современной медицине для профилактики и диагностики сердечно-сосудистых заболеваний находит широкое применение мониторинг электрокардиосигнала (ЭКС) [1]. Система оперативного слежения позволяет накапливать информацию о состоянии сердца и диагностировать заболевание на ранних стадиях его развития посредством контроля отклонения параметров распределения при работе сердца от «штатного» состояния. Случайный характер ЭКС обусловлен вероятностным поведением биологического объекта, так как работа биологической системы зависит от множества внутренних процессов и внешних воздействий. При условии вероятностного поведения биологического объекта неотъемлемая часть мониторинга состоит в получении статистических параметров на основе обработки ЭКС.

Классические методы исследования и анализа биологической системы, к чему относится сердце, основаны на описании случайных воздействий с помощью корреляционных функций и функции спектральной плотности. Проблемы технической реализации классических методов анализа определены значительными временными затратами, использованием сложного оборудования, применением дополнительных материальных средств при проведении мониторинга. В таких условиях мониторинг приходится осуществлять в условиях априорной неопределенности о действующих возмущениях, что подобно «информационному вакууму» [3]. Состояние сердца характеризуется наличием различных случайных по своей природе процессов, обуславливающих неопределенность его физиологических характеристик. В этих условиях наблюдаемые значения в любой момент времени подчиняются характерному распределению, что обуславливает целесообразность использования методов статистики при обработке результатов мониторинга путём наблюдения за изменением параметров распределения. Для описания неупорядоченности результатов в последнее время находит широкое распространение информационная энтропия наблюдаемых результатов [4].

Особенность оценки неопределённости объекта с помощью ограниченного набора информационных характеристик, однозначно определяющих его энтропию, создаёт новые возможности для эффективного мониторинга, прогнозирования и управления [5].



Независимый способ определения уровня неопределённости для состояния объекта, в данном случае ЭКС, состоит в оценке вероятностной энтропии $H(y)$ наблюдаемого свойства y

$$H(y) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(y) \ln f(y) dy. \quad (1)$$

где $f(y)$ – плотность распределения значений наблюдаемого свойства.

Для задания меры энтропийного потенциала используют половину диапазона равномерного распределения, имеющего такую же энтропию, как и закон распределения наблюдаемого параметра [3].

$$\Delta_3 = \frac{1}{2} \exp(H(y)). \quad (2)$$

Энтропийный потенциал Δ_3 , рассчитанный с помощью выражения (2) для произвольного распределения случайной величины, является своеобразной характеристикой уровня нестабильности объекта: чем больше уровень нестабильности объекта, тем больше энтропийный потенциал Δ_3 [3]. Выражение для расчёта энтропийного потенциала по выборке результатов мониторинга ЭКС при равномерном выборе интервалов группирования данных Δx [6], имеет вид:

$$\Delta_3 = \frac{1}{2} \Delta x \cdot N \cdot \exp\left(-\frac{1}{N} \sum_{j=1}^m n_j \cdot \ln(n_j)\right). \quad (3)$$

Взаимосвязь энтропийного потенциала с характеристиками разброса выборки результатов мониторинга позволяет использование выражения (3) для расчёта энтропийного потенциала в алгоритмах обработки результатов при мониторинге электрофизиологических характеристик сердца.

В пространстве, заданном энтропийным потенциалом и среднеквадратическим отклонением (СКО), положение объекта удобно характеризовать с помощью энтропийно-параметрического потенциала (ЭПП), под которым понимается мера неопределённости объекта, равная расстоянию от центра координат пространства до точки положения объекта. Выражение для энтропийно-параметрического потенциала имеет вид:

$$\Delta_{\text{ЭП}} = \sqrt{0,5 \cdot (\Delta_3^2 + \sigma^2)}. \quad (4)$$

Анализ результатов мониторинга связан с определением аппроксимирующих функций ЭКС. На рис.1. дана иллюстрация особенностей выбора параметров формы аппроксимирующей функции с заданной формой. При проведении мониторинга определена точка 1 положения выборки результатов мониторинга в осях энтропийного потенциала и среднего квадратического разброса. Априорно до проведения мониторинга выбрана форма аппроксимирующей функции, положение возможных значений которой в осях энтропийного потенциала и неопределённости СКО иллюстрирует линия 2. Пунктирные линии 3 и 4 иллюстрируют эквипотенциалы для энтропийного потенциала и неопределённости СКО. Пересечение эквипотенциалов 3 и 4 с линией положения значений аппроксимирующей функции 2 задает положение точек оптимального состояния системы при минимизации относительно неопределённости СКО и при ми-



нимизации энтропийного потенциала соответственно. Эквипотенциальная кривая ЭПП задана формой окружности, радиус которой равен ЭПП, рассчитанному для выборки результатов мониторинга.

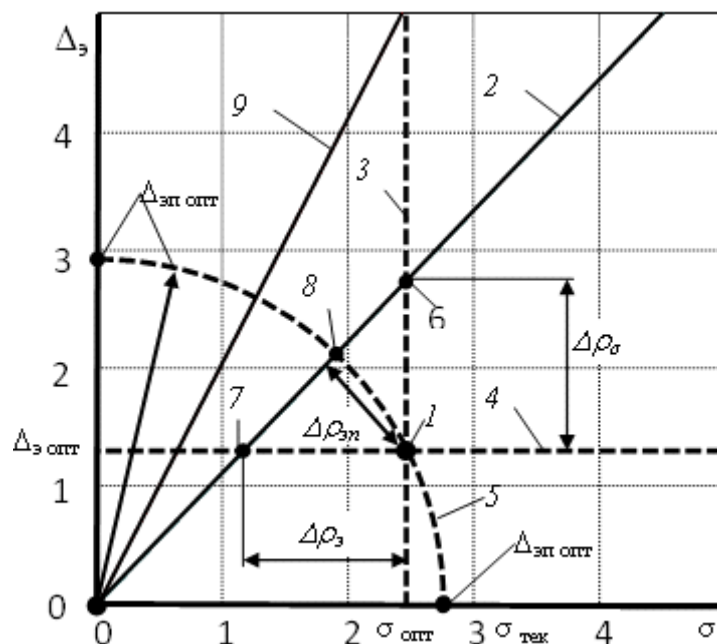


Рис.1. Эквипотенциальные линии для выборки результатов

На рисунке цифрами обозначены:

- 1 – зависимость энтропийного потенциала от среднего квадратического разброса для распределений с известным параметром формы;
- 2 – точка положения выборки результатов мониторинга в осях энтропийного потенциала и среднего квадратического разброса;
- 3, 4, 5 – эквипотенциальные линии для потенциала параметра неопределённости СКО, для энтропийного потенциала и для ЭПП соответственно;
- 6, 7, 8 – точки оптимального состояния системы при минимизации потенциала неопределённости СКО, при минимизации энтропийного потенциала и при минимизации ЭПП;
- 9 – линия нормального распределения.

Из рассмотрения рис. 1. следует, что минимальное расстояние между точкой 1 положения выборки результатов мониторинга и линия 2 положения возможных значений параметров аппроксимирующей функции определяет пересечение эквипотенциальной линии, соответствующей мере ЭПП

$$\Delta_{\text{ЭП}}(x) - \Delta_{\text{ЭП}}(y) \rightarrow \min. \quad (5)$$

Качественно новый результат получается при применении ЭПП к случайной величине разности векторов выборки результатов измерений и выборки аппроксимирующей функции.

В этом случае мера расстояния между выборками случайных величин заданная с помощью ЭПП, при наложении параметров выборок стремится к нулю. Поэтому при поиске оптимальных параметров достаточно положить, что



ЭПП выборки разностей результатов мониторинга аппроксимирующей функции стремится к минимальному значению:

$$\Delta_{\text{ЭП}}(x - y) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Таким образом, ЭПП является эффективным инструментом при математическом моделировании по результатам мониторинга электрофизиологических параметров сердца. Его применение к возможно как при высоких, так и при низких значениях коэффициента энтропии. При этом стоит учесть, что аппроксимация с помощью ЭПП имеет лучшее качество, чем с помощью потенциала неопределённости СКО или энтропийного потенциала в отдельности. Данный факт обусловлен тем, что выборка результатов мониторинга в пространстве энтропийной и параметрической неопределённости при аппроксимации с помощью ЭПП находится на минимальном расстоянии от линии положения реализаций аппроксимирующей функции с заданной формой.

Литература

1. Федотов А.А., Акулов С.А. Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга. – М.: Радио и связь, 2013. – 248 с.
2. Карлюк Е.С. Проектирование современных средств регистрации биомедицинских сигналов и мониторинга./ Карлюк Е.С., Ткаченко В.Л., Фесечко В.А. // Электроника и связь, ч.1, 2008., С.166 – 171.
3. Лазарев В.Л. Энтропийный подход к организации мониторинга и управления. / Известия РАН. Теория и системы управления. 2005. №6, с. 61–68.
4. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерения. – СПб.: Питер, 2010. – 192 с.
5. Полосин, В.Г., Бодин О.Н. Применение энтропийно – параметрического потенциала для мониторинга результатов электрофизиологических характеристик сердца / Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2015. – № 4. – С. 3-9.
6. Полосин В.Г. Статистические методы построения фазовых траекторий электрокардиосигнала / Полосин В.Г., Бодин О.Н., Балахонова С.А., Рябчиков Р.В. Фундаментальные исследования. – №12. – 2014. – С.2660–2665.

О.Н. Бодин, С.А. Балахонова, А.С. Сергеенков, А.Г. Убиенных, П.П. Чураков

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

(Пензенский Государственный Университет)

Качественное и своевременное оказанием медицинской помощи является приоритетной задачей современного здравоохранения. Своевременность достигается проведением мониторинга состояния здоровья населения. Для этого раз-