

УДК 612.176.4

Н.Л. ЧАН

Научный руководитель – Андреев В.Г., док. техн. наук, доцент
Рязанский государственный радиотехнический университет

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СПЕКТРАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ КАРДИОСИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕОПРЕДЕЛЁННОЙ АВТОРЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

В настоящее время проблема оперативного контроля состояния здоровья актуальна для широкого круга людей. Особую значимость имеет ранняя неинвазивная (без исследования биологических жидкостей) экспресс-диагностика заболеваний человека, в частности, по его пульсу [1]. Поэтому решение задачи повышения качества кардиологической информации представляется актуальным.

Так, для мониторинга (скрининга) состояния здоровья эффективно осуществление наблюдений за состоянием широких слоёв населения или работающих на предприятиях сотрудников для задач их функциональной диагностики. В данной работе предлагается подход, который даёт возможность повышения точности оценивания спектральной плотности мощности (СПМ) $S(l/L)$ кардиосигналов при большой относительной мощности P_n шума (отношение сигнал-шум до 10 дБ) с применением переопределенной авторегрессионную (АР) модели [2]. Предлагается расширение постановки задачи авторегрессионного описания процесса путём введения переопределенности в АР-модель весового вектора \mathbf{w} для учёта точности оценок коэффициентов автокорреляции. Такой подход даёт возможность оперативно, с небольшими вычислительными и аппаратными затратами реализовать процедуру функциональной диагностики по пульсу при сильных зашумлениях и небольших (1...2 минуты) длительностях наблюдений, что позволяет охватить широкие слои населения и большие территории его проживания для задач оценки, например, экологической обстановки в регионе. Идея предлагаемого подхода раскрывается выражением:

$$\mathbf{a}_{\text{opt}} = -(\mathbf{R}^H \mathbf{W}^H \mathbf{W} \mathbf{R})^{-1} \mathbf{R}^H \mathbf{W}^H \mathbf{W} \mathbf{r},$$

где \mathbf{a}_{opt} – модифицированный вектор авторегрессии, найденный из переопределенной системы линейных уравнений [2]; \mathbf{R} – $[(c+p) \times p]$ -мерная корреляционная матрица, \mathbf{r} – $(p+c)$ -мерный вектор-столбец автокорреляции, p – порядок модели, c – глубина переопределенности, H – знак комплексного сопряжения и транспонирования, $\mathbf{W} = \text{diag}(\mathbf{w})$ – диагональная матрица весов \mathbf{w} . Элементы вектора \mathbf{w} находятся как обратная величина прогнозируемого среднеквадратического

отклонения (СКО) оценок коэффициентов автокорреляции, в качестве оценки СКО может быть принята граница Крамера – Рао.

На реальных массивах данных пульсограмм с помощью авторегрессионных параметрических методов получены оценки СПМ в условиях сильных зашумлений (отношение сигнал-шум 10 дБ) и коротких (150 отсчётов) выборках наблюдений (см. рисунок).

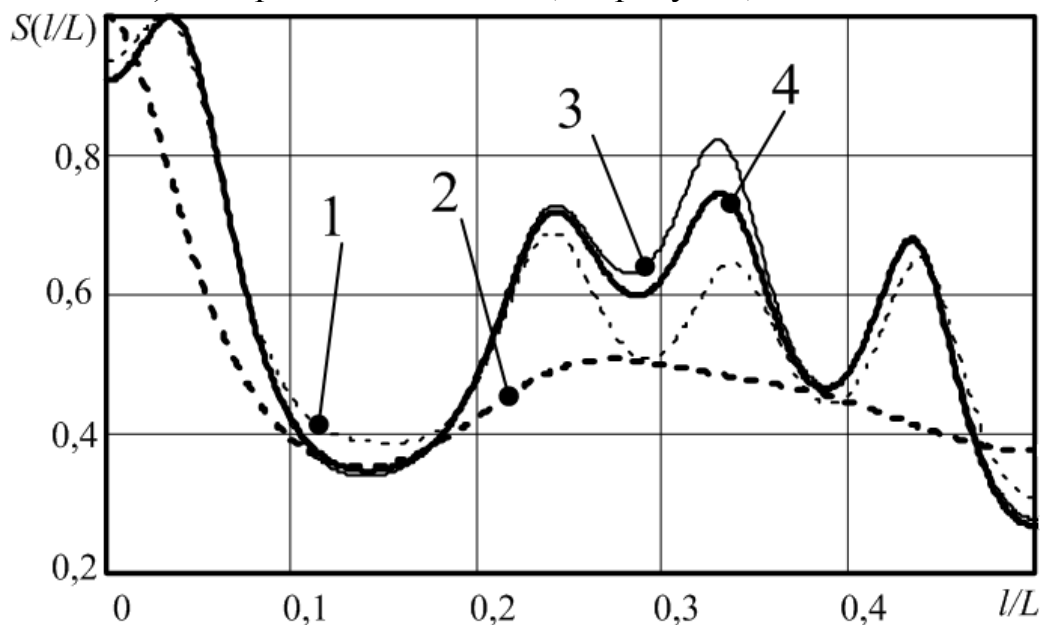


Рисунок — СПМ пульсограмм

На рисунке введены следующие условные обозначения: l/L – относительная частота, числена равная отношению номера l текущего спектрального отсчёта к общему их числу L ; пунктирная тонкая кривая 1 – контрольный спектр (СПМ, полученная по незашумлённым данным); пунктирная жирная кривая 2 – СПМ, полученная на основе простой АР-модели (без переопределённости); сплошная тонкая кривая 3 – на основе известной переопределенной АР-модели; сплошная жирная кривая 4 – на основе предлагаемой модели.

Из рисунка нетрудно заметить, что качество оценивания спектра у предлагаемой модели лучшее, чем у известных параметрических АР-методов. Для объективной оценки выигрыша от метода спектрального оценивания сведём в таблицу нормированные квадраты длин ε векторов невязок между оцениваемым и контрольным спектром (эталон), в качестве которого принят результат спектрального оценивания незашумлённой последовательности с помощью АР-модели большого ($p=20$) порядка (контрольной модели) [2].

Таблица — Сравнение адекватности моделей

Модели (методы спектрального оценивания)	Простая ($p=10, c=0$)	Переопределённая ($p=10, c=20$)	Предлагаемая ($p=10, c=20$)
--	-------------------------	-----------------------------------	-------------------------------

Невязка ε	0,014	$4,859 \cdot 10^{-3}$	$2,408 \cdot 10^{-3}$
-----------------------	-------	-----------------------	-----------------------

Таким образом, эксперименты показали, что квадрат длины ε вектора невязки у предлагаемой модели имеет 2 раза меньшую величину, чем у известной переопределенной модели с той же глубиной переопределённости ($c=20$) и в 5 раз меньшую величину, чем у простой АР-модели того же порядка ($p=10$). Повышение адекватности спектрального оценивания расширяет возможности медицинской диагностики при ограничениях на аппаратные и временные затраты, давая возможность анализа состояния здоровья в условиях сильных зашумлений пульсометрических данных, представленных короткими (150 ударов сердца и менее) выборками.

Библиографический список

1. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.М. Математический анализ измерений сердечного ритма при стрессе.— М.: Наука, 1984.— 221 с.
2. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ.— М.: Мир, 1990.— 584 с.
3. Мониторинг биомедицинских сигналов в автоматизированных комплексах ранней диагностики / В.А. Фесечко, В.Л. Ткаченко, Ю.С. Синекон и др. // Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии».— 2010.— № 2.— С. 154-160.— (URL: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/eis/2010_2/25_Fesechko.pdf).