

А.Е. ФИЛАТОВА, к.т.н., доц. НТУ "ХПИ", Харьков

НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ БИМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ С ЛОКАЛЬНО СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПРИЗНАКАМИ В ЗАДАЧЕ СТРУКТУРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

В работе рассматривается задача структурной идентификации биомедицинских сигналов (БС) с локально сосредоточенными признаками (ЛСП) с помощью нелинейного фильтра. Рассмотрены модели полезного сигнала с ЛСП, а также методы преобразования БС с ЛСП на основе моделей полезного сигнала. Предложен обобщенный метод нелинейной фильтрации БС с ЛСП. Ил.: 3. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: структурная идентификация, биомедицинский сигнал, локально сосредоточенные признаки, нелинейный фильтр, модель полезного сигнала.

Постановка проблемы. Проектирование компьютерных диагностических систем (КДС) оценки состояния сердца и сердечно-сосудистой системы с целью повышения эффективности диагностики сердечно-сосудистых заболеваний является актуальной задачей медицинской кибернетики. В [1, 2] были выделены основные этапы обработки БС с ЛСП в КДС. Рассматриваемые БС с ЛСП – это квазипериодические сигналы сложной формы, состоящие из периодически чередующихся структурных элементов (СЭ). СЭ – это небольшие фрагменты интервала наблюдения БС с ЛСП, несущие информацию о состоянии объекта. В качестве примера такого сигнала можно привести ЭКГ. Традиционно диагностическими признаками ЭКГ являются амплитудно-временные параметры СЭ. Например, основные признаки ишемической болезни сердца сосредоточены на S-T интервале и зубце T [3 – 6]. Одним из ответственных и трудно формализуемых этапов обработки БС с ЛСП является этап структурной идентификации (СИ), которая заключается в выделении на фоне помех СЭ. Эту задачу можно решить с помощью нелинейного фильтра (НФ), в основу которого положена модель полезного сигнала (МПС). Задача НФ – на основе множества моделей структурных элементов БС с ЛСП найти некоторое преобразование, в результате которого может быть получен сигнал, обладающий заданными характеристиками.

Анализ литературы. В [1, 4 – 8] рассмотрены различные модели полезного сигнала, каждая из которых в соответствии с некоторым критерием наилучшим образом описывает СЭ.

МПС-1: представление БС $x(t)$ в виде решетчатой функции времени

идентификации БС с ЛСП относятся к методам контурного анализа. В основе методов данной группы лежат априорные сведения о структуре обрабатываемого сигнала. Поэтому основными недостатками таких методов являются их сложность и плохая адаптация для сигналов, имеющих нетипичную структуру [2 – 4].

Преобразование Фурье лежит в основе спектрального анализа БС с ЛСП. Преобразование Фурье не позволяет локализовать во времени частотные компоненты, поэтому может использоваться для стационарных сигналов. Однако БС с ЛСП не являются стационарными. Попыткой учесть временную характеристику сигнала является оконное преобразование Фурье. При этом ухудшается разрешающая способность по частоте. При увеличении ширины окна улучшается разрешающая способность по частоте, но теряется разрешение по времени, и наоборот. Для преодоления этого недостатка в последнее время используется вейвлет преобразование. Основным недостатком этого метода является вычислительная сложность алгоритмов преобразования. Кроме того, в МПС-2, которые лежат в основе этих преобразований, не учитываются особенности БС с ЛСП [7, 8].

Особый интерес для решения поставленной задачи имеют преобразования, основанные на МПС-4 и МПС-5.

Цель статьи – разработка обобщенного метода нелинейной фильтрации БС с ЛСП с учетом моделей и методов преобразования полезного сигнала БС с ЛСП для решения задачи структурной идентификации при проектировании компьютерных диагностических кардиологических систем.

Структурная идентификация сигнала с помощью метода преобразования БС с ЛСП в фазовое пространство. Пусть имеется выборка искаженных дискретных реализаций $x_1[k], \dots, x_M[k]$ ($M \geq 2$). Каждая выборка соответствует одному циклу квазипериодического БС с ЛСП. Методами численного дифференцирования получены производные $\dot{x}_m[k]$ в каждой k -й точке m -й реализации ($m = \overline{1, M}$). В результате получаем M последовательностей (фазовых траекторий) $Q_m = \{z_m[k], k = \overline{1, K_m}\}$, $m = \overline{1, M}$, где $z_m[k] = (x_m^*[k], \dot{x}_m^*[k])$ – нормированный вектор, координаты $x_m^*[k]$, $\dot{x}_m^*[k]$ которого вычисляются по следующему выражению:

$$x_m^*[k] = \frac{x_m[k] - \min_k x_m[k]}{\max_k x_m[k] - \min_k x_m[k]}, \quad \dot{x}_m^*[k] = \frac{\dot{x}_m[k] - \min_k \dot{x}_m[k]}{\max_k \dot{x}_m[k] - \min_k \dot{x}_m[k]}.$$

После преобразования сигнала в фазовое пространство фазовые траектории Q_m по соответствующему алгоритму усредняются, и выделяется опорная траектория. По эталонной траектории строится эталонный цикл во временной области. В результате структурная идентификация выполняется не на исходном сигнале, а на полученном известными эвристическими методами эталонном фрагменте. Если обрабатываемый сигнал имеет нетипичные циклы, то в фазовом пространстве выделяется не одна, а несколько опорных траекторий, по каждой из которых строится эталонный сигнал во временной области.

Структурная идентификация сигнала с помощью метода преобразования в адаптированное пространство параметров аппроксимирующих функций (АППАФ). Пусть каждый объект ω_m описан вектором амплитуд $\vec{x}^m = (x_1^m, \dots, x_j^m, \dots, x_{N_x}^m)$ точек исходного сигнала x_t , принадлежащих этому СЭ, где N_x – длина \vec{x}^m . Тогда в АППАФ объект ω_m будет описан вектором $\vec{y}^m = (y_1^m, \dots, y_j^m, \dots, y_{N_y}^m)$, где $y_j^m = f_k(\vec{x}_j^m)$, $f_k(\vec{x}_j^m)$ – значение опорной функции, заданной на участке, ограниченном опорными точками; N_y – длина \vec{y}^m , причем $N_y < N_x$ (рис. 1).

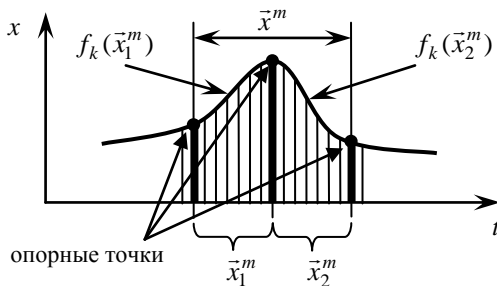


Рис. 1. Пример описания СЭ в АППАФ

В качестве опорных функций могут выступать разделенные разности первого и второго порядков, коэффициенты аппроксимирующих полиномов различных порядков и т. д. Адаптивным пространство является в силу того, что количество координат этого пространства, вид опорной функции и другие параметры преобразования выбираются на основании выбранного класса СЭ. Т.е. параметры преобразования как бы "подстраиваются" под искомые СЭ.

Для СИ сигнала строится функция дифференциации расстояний вида (ФДР) $f_r[t] = d^{(\alpha)}(\omega^3, \omega_t)$, где $d^{(\alpha)} \in [0; 1]$ – расстояние между эталоном ω^3 и объектом ω_t в АППАФ, основанное на идее потенциальных функций. Расстояние вычисляется по следующему выражению

$$d^{(\alpha)}(\omega^3, \omega_t) = \sqrt{\alpha \sum_{j=1}^{N_y} (y_j^3 - y_j^t)^2} / \left(1 + \alpha \sum_{j=1}^{N_y} (y_j^3 - y_j^t)^2 \right),$$

где y_j^3, y_j^t – координаты в АППАФ объектов ω^3 и ω_t соответственно.

Принадлежность объекта ω_t к классам Ω_1 или Ω_2 определяется из анализа значений локальных минимумов M_ξ ФДР:

$$\omega_t \in \begin{cases} \Omega_1, & \text{если } \theta(\omega_t, P_d) = P_d - M_\xi > 0; \\ \Omega_2, & \text{если } \theta(\omega_t, P_d) = P_d - M_\xi \leq 0, \end{cases}$$

где P_d – адаптивный порог, который может учитывать как статические, так и динамические значения параметров сигнала.

Обобщенный метод нелинейной фильтрации. Анализ рассмотренных методов позволил выделить однотипные этапы при структурной идентификации БС с ЛСП. В результате предложена схема структурной идентификации, изображенная на рис. 2.

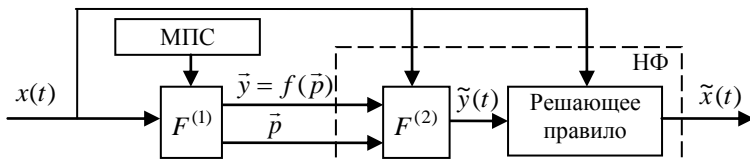


Рис. 2. Схема структурной идентификации БС с ЛСП на основе нелинейного фильтра

Преобразование 1-го уровня $F^{(1)}$ – это один из методов преобразования БС с ЛСП $x(t)$ на основе моделей полезного сигнала с учетом вектора параметров \vec{p} в вектор $\vec{y} = f(\vec{p})$. Например, переход в фазовое пространство или адаптивное пространство параметров аппроксимирующих функций.

Преобразование 2-го уровня $F^{(2)}$ – получение новой функции во временной области $\tilde{y}(t)$, на основании анализа которой с помощью соответствующего решающего правила выполняется структурная идентификация. В первом из рассмотренных методов в качестве преобразования 2-го уровня выступает этап синтеза эталонного фрагмента сигнала; во втором методе – построение функции дифференциации расстояний. Преобразование $F^{(2)}$ вместе с решающим правилом являются основой нелинейного фильтра.

Т.к. адекватность определенной МПС для каждого СЭ различна, то при проектировании НФ предлагается объединять частные решающие правила (ЧРП) в коллектив решающих правил (КРП) (рис. 3).

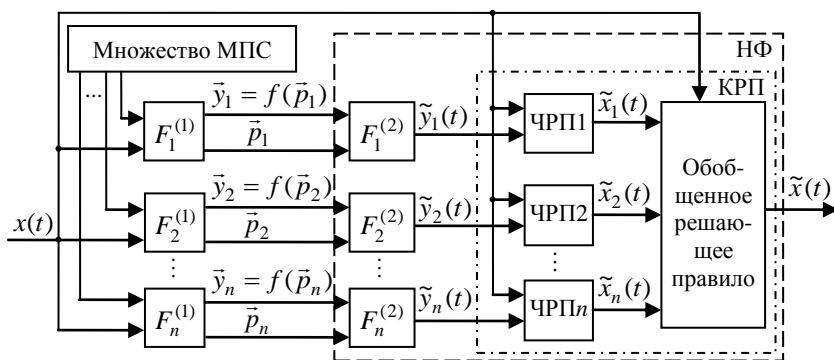


Рис. 3. Обобщенная схема структурной идентификации БС с ЛСП на основе нелинейного фильтра

Такой подход позволяет учитывать все сильные стороны преобразований, основанных на различных МПС. А это, в свою очередь, повышает качество структурной идентификации БС с ЛСП.

Выводы. Анализ моделей полезного сигнала и методов преобразования БС с ЛСП позволил выделить однотипные этапы при структурной идентификации БС с ЛСП, в результате чего на основе нелинейного фильтра предложена обобщенная схема структурной

ідентифікації БС с ЛСП, которая позволила учесть достоинства основных методов преобразования БС с ЛСП.

Список литературы: 1. *Філатова Г.С.* Структурна ідентифікація сигналів у кардіологічних системах: дис. канд. техн. наук: 05.11.17 / *Філатова Ганна Євгенівна.* – Харків, 2002. – 177 с. 2. *Абакумов В.Г.* Біомедичні сигнали. Генезис, обробка, моніторинг. Навчальний посібник / *В.Г. Абакумов, О.І. Рибін, Й. Сватош.* – К.: Нора-прінт, 2001. – 516 с. 3. *Мурашко В.В.* Електрокардіографія: Учебное пособие / *В.В. Мурашко, А.В. Струтинский.* – М.: МЕДпресс, Элиста: Джангар, 1998. – 313 с. 4. Вычислительные системы и автоматическая диагностика заболеваний сердца / Под ред. *Ц. Касереса, Л. Дрейфуса.* – М.: Мир, 1974. – 504 с. 5. *Файнзильберг Л.С.* Методи та інструментальні засоби оцінювання стану об'єктів за сигналами з локально зосередженими ознаками: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.13.06 "Автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології" / *Л.С. Файнзильберг.* – К., 2004. – 35 с. 6. *Файнзильберг Л.С.* ФАЗАГРАФ® – ефективна інформаційна технологія обробки ЕКГ в задачі скринінга ішемічної хвороби серця / *Файнзильберг Л.С.* // Клиническая информатика и телемедицина. – 2010. – Т. 6. – Вып. 7. – С. 22-30. 7. *Айфичер Э.* Цифровая обработка сигналов: Практический подход / *Э. Айфичер, Б. Джервис* – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 992 с. 8. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие / *А.Б. Сергиенко.* – СПб.: Питер, 2006. – 752 с.

Статья представлена д.т.н. проф. НТУ "ХПИ" С.М. Порошиным.

УДК 61.007+004.932.72

Нелінійна фільтрація біомедичинських сигналів з локально зосередженими ознаками в задачі структурної ідентифікації / Філатова Г.Є. // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 17. – С. 168 – 174.

У роботі розглядається задача структурної ідентифікації біомедичинських сигналів (БС) з локально зосередженими ознаками (ЛЗО) за допомогою нелінійного фільтра. Розглянуті моделі корисного сигналу із ЛЗО, а також методи перетворення БС із ЛЗО на основі моделей корисного сигналу. Запропонований узагальнений метод нелінійної фільтрації БС із ЛЗО. Іл.: 3. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: структурна ідентифікація, біомедичинський сигнал, локально зосереджені ознаки, нелінійний фільтр, модель корисного сигналу.

UDC 61.007+004.932.72

Nonlinear filtration of biomedical signals with the locally concentrated signs in task of structural identification / Filatova A.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 17. – P. 168 – 174.

The task of structural identification of biomedical signals (BS) with the locally concentrated signs (LCS) by means of nonlinear filter is examined in the work. The models of useful signal with LCS and transformation methods of BS with LCS on the basis of models of useful signal are considered. The generalized method of nonlinear filtration of BS with LCS is offered. Figs.: 3. Refs.: 8 titles.

Keywords: structural identification, biomedical signal, locally concentrated signs, nonlinear filter, model of useful signal.

Поступила в редакцію 04.04.2011