

Балакин Д.А.¹, Штыков В.В.¹, Чуркин С.С.²

¹Национальный исследовательский университет «МЭИ»

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Использование фазометрического комплекса диапазона КВЧ для диагностики жизнедеятельности человека

Излагаются основные положения метода обнаружения сигнала с использованием ортогонального базиса функций Гаусса-Эрмита. Метод базируется на принципах согласованной фильтрации, позволяющих проследить динамику не только исследуемого сигнала, но и его локальных особенностей, которые дают дополнительную диагностическую информацию. Осуществляется верификация метода на реальном сигнале, полученном с помощью фазометрического комплекса. Сигнал представляет собой последовательность импульсов в виде смеси дыхательной составляющей и кардиологической активности. Приведены результаты выделения сигнала кардиоактивности.

Ключевые слова: согласованная фильтрация, функции Гаусса-Эрмита, вейвлет-преобразование, фазометрический комплекс, банк ортогональных фильтров, частотная характеристика, кардиоактивность.

1. Введение

Анализ формы и параметров квазипериодических импульсных сигналов на фоне помех является неотъемлемой частью процесса обработки информации с целью диагностики состояния объекта. Такие сигналы, например, являются результатом действия различных механизмов, машин, аппаратов, живых организмов и прочих объектов. В большинстве случаев эти объекты функционируют циклически. Так, например, в механических системах это обусловлено наличием вращающихся частей, в живом организме – ведущих центров нервных возбуждений. Как правило, признаком исправного функционирования является периодичность следования импульсов (см., например, [1,2]) в то время, как нарушение периодичности может служить признаком наличия в системе дефекта.

Так, например, хорошо известно, что нарушения ритма сердечной деятельности человека рассматриваются кардиологом как признак возможного заболевания (см., например, [3,4]). Конечно, за счет внешних воздействий некоторая аритмичность и искажения формы импульсов возможны и это не свидетельствует о наличии дефекта. Однако для каждого конкретного объекта всегда можно указать допустимые границы таких отклонений, переход которых можно диагностировать как дефект.

Диагностику состояния объекта можно вести как по малым перемещениям его в целом, так и по вибрациям его отдельных частей. Дистанционная бесконтактная вибродиагностика имеет ряд очевидных преимуществ. В настоящее время выделяю три группы бесконтактных методов измерения вибрации: ультразвуковые, оптические, радиоволновые.

Интерференционные радиоволновые методы, основанные на зондировании объекта электромагнитными волнами СВЧ и КВЧ диапазонов, обладают достаточно высокой раз-

решающей способностью, могут быть использованы в условиях высокой влажности воздуха, плохой оптической видимости и высоких температур для объектов практически с любой поверхностью.

Дистанционное измерение параметров дыхания и кардиоактивности нашло многочисленные применения в спасательных операциях, медицинских и спортивных областях [5]. Бесконтактный мониторинг variability сердечного ритма и периодов дыхания является актуальной задачей в ожоговых центрах. Сигналы подобного рода представляют собой смесь циклов дыхания и сердца. Отделение периода дыхания от ритма сердца является важной задачей, несущей диагностическую информацию.

2. Аппаратные средства комплекса

Для реализации дистанционной вибродиагностики ООО "АФС 52" был разработан и создан фазометрический комплекс (ФМК), который предназначен для высокоточного определения перемещений в широком диапазоне скоростей [5,6]. Он прошел аттестацию в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии. Согласно протоколу ФБУ Нижегородского ЦСМ за № 371/16-2200 от 03.04.2015 г. максимально значение СКО ФМК составляет 7 мкм.

Структурная схема (ФМК показана рис. 1. Приемник ФМК представляет собой хорошо известную и широко распространенную схему супергетеродинного радиоприемника. Рабочая частота ФМК выбрана равной 93,8 ГГц (длина волны 3,2 мм) и в основном диктовалась допустимыми габаритами, стоимостью и возможностями производителей СВЧ и КВЧ компонент.

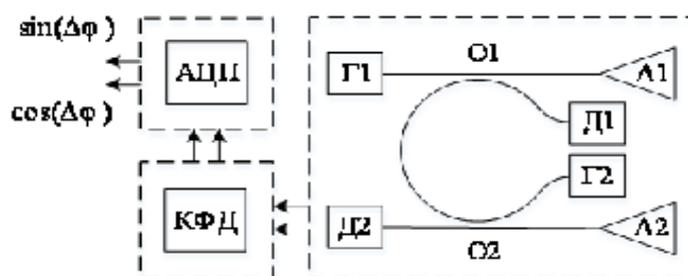


Рис. 1. Структурная схема фазометрического комплекса

Основной генератор ФМК Г1 мощностью порядка 10 мВт через диэлектрический волновод передает электромагнитную волну на передающую антенну А1, которая направлена на исследуемый объект. Часть мощности через направленный ответвитель О1 поступает на смесительный диод Д1. Отраженная радиоволна, принимается приемной антенной А2 и поступает на второй смеситель, выполненный на диоде Д2. Через направленный ответвитель О2 отраженная радиоволна поступает также на вход первого смесителя. Частота опорного генератора Г2 равна 93,7 ГГц. Промежуточная частота радиоприемника частоты равной 100 МГц. Сигналы со смесителей поступают для выделения синфазной и квадратурной компонент в квадратурный фазовый детектор (КФД) а затем, в аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

3. Метод обработки

Хорошо известно, что выделение сигнала на фоне белого шума возможно с использованием согласованного фильтра. Однако реальные физические процессы нестационарны. Для регистрации обработки и диагностики таких процессов уже достаточно давно и широко используется вейвлет-преобразование (ВП), которое позволяет обнаружить и локализовать сигналы на оси времени [7]. Кроме того ВП позволяет проводить разделение сигналов по отличительным признакам их формы.

Принципы разработанного нами алгоритма обработки сигнала в своей основе содержит ВП. Однако «материнская функция строится в виде суммы ряда на ортогональном базисе функций Гаусса-Эрмита (ФГЭ) [8]. Поскольку система ФГЭ полна, то можно построить на ее основе локализованную во времени МФ (эталон) любой сложности. Каждой ФГЭ можно поставить в соответствие частотный спектр [9]. Система таких спектральных функций образует полную ортогональную систему на базисе ФГЭ. Таким образом ВП на основе ФГЭ эквивалентна обработке сигнала с помощью согласованного банка ортогональных фильтров. Изменяя, также как это делается в традиционном ВП, масштаб импульсной характеристики такого фильтра, можно не только локализовать сигнал заданной формы, но и определить его длительность. Таким образом, частотно-временная обработка средствами ВП становится адаптивной согласованной фильтрацией во временной области. Максимумам взаимокорреляционной функции (МФ) и сигнала соответствуют положения фрагментов сигнала, которые по некоторому критерию можно считать близкими по форме к эталону.

На рис. 2. представлена структурная схема метода.

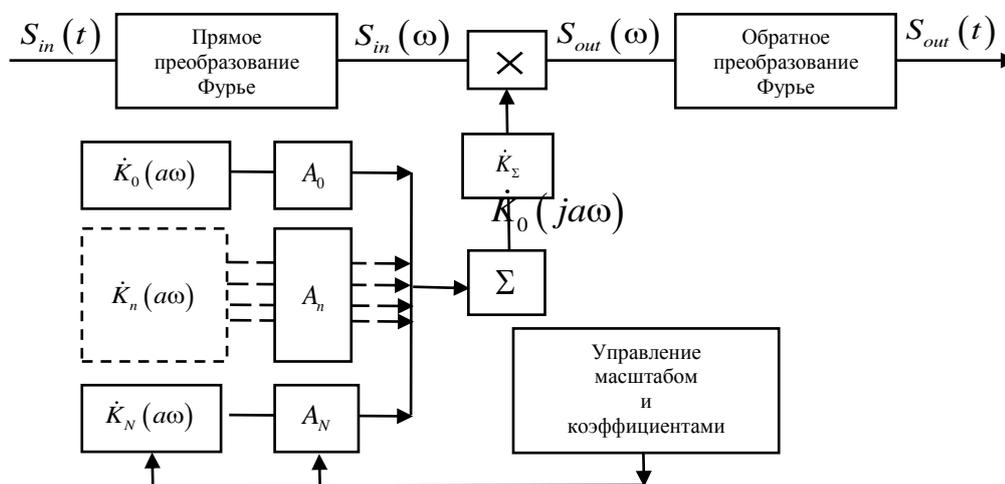


Рис.2. Структурная схема метода

Поскольку адаптивный фильтр представляет собой банк ортогональных и независимых фильтров, его адаптация сводится лишь к управлению весовыми коэффициентами его отдельных элементов. Такая гибкость формирования фильтра расширяет области практического использования метода [9].

4. Пример обработки реального сигнала

Конкретные результаты, полученные нами, относятся к задаче обнаружения периодов сердцебиения в сигнале, полученном дистанционно с помощью ФМК.

В эксперименте, проводилось измерение перемещения поверхности тела спокойно сидящего на стуле человека, обусловленного дыханием и сердцебиением. В эксперименте участвовало 5 человек. Для каждого участника проводилась серия из 28-ми измерений, который отличались областью измерения перемещения поверхности ФМК. Одновременно проводилась запись электрокардиограммы. Поскольку наша цель состояла в отработке метода выделения сигналов, обработка проводилась после окончания эксперимента по записям отсчетов в файле данных фазометрического комплекса.

На рис. 3. приведена запись сигнала ФМК при облучении поверхности грудной клетки в области сердца. Ясно, что основная проблема при выделении кардиоциклов состоит в том, что сигнал дыхательной активности существенно их превышает. Разработанный нами метод позволяет эту проблему решить.

Эталонный сигнал можно сформировать двумя способами: по его математической модели и по результатам натуральных измерений. Поскольку математическая модель отсутствует, мы вынуждены были использовать второй способ.

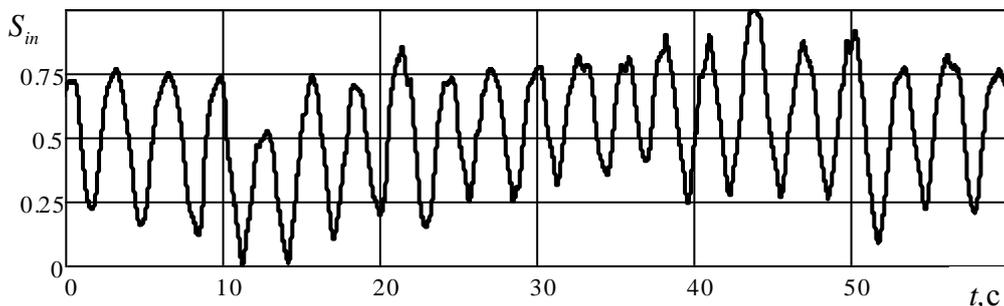


Рис. 3. Запись сигнала ФМК

На рис. 4 показан фрагмент (кривая 1) записи сигнала ФМК, который был выбран для формирования эталона кардиоциклов.

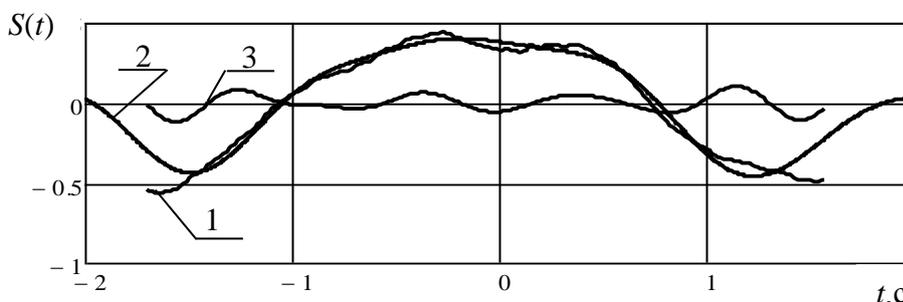


Рис. 4. Фрагмент сигнала ФМК(1), эталона цикла дыхания (2) и кардиоактивности (3)

На рис.5 представлен спектр фрагмента записи в пространстве ФГЭ (преобразование Эрмита). «Низкочастотная» часть этого спектра ($n < 30$) соответствует сигналу дыхания, а «высокочастотная» ($n > 30$) – кардиоритму. Проводя фильтрацию в пространстве ФГЭ получаем эталоны сигналов дыхания (кривая 2) и кардиоактивности (кривая 3).

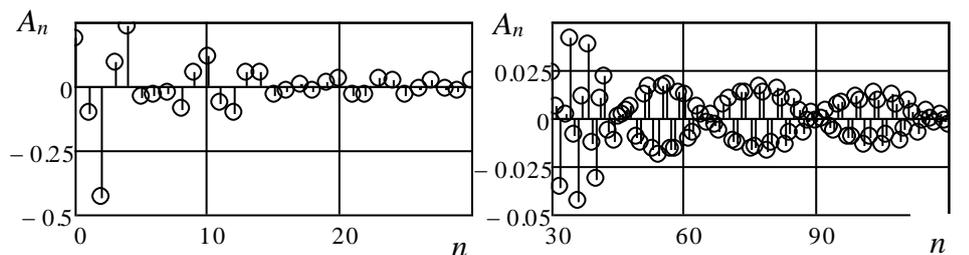


Рис. 5 Спектр фрагмента сигнала в пространстве ФГЭ

Эталон¹ кардиоциклов позволяет сформировать банк фильтров. Нормированная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра приведена на рис.6.

¹ Этот эталон может быть использован для обработки других подобных записей.

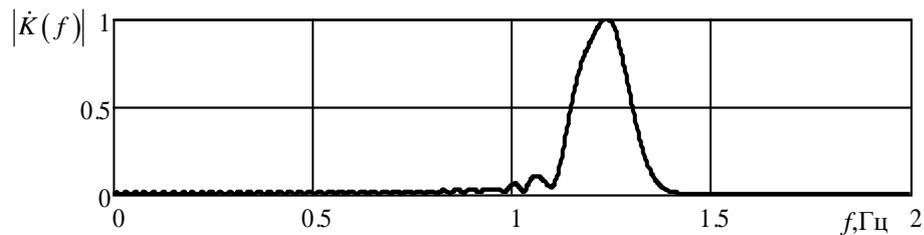


Рис. 6 Нормированная АЧХ фильтра

Сигнал на выходе фильтра является функцией времени и масштаба. Максимумы этой поверхности дают значения моментов времени и масштаба для каждого такта кардиоактивности. Обработка представленных данных, ради простоты, вариации масштаба не проводились². Из эмпирических соображений его значение было принято 1,65 с, что соответствует приблизительно двум тактам кардиосигнала.

Результаты обработки показаны на рис. 7. На том же рисунке приведена ритмограмма, полученная по данным электрокардиографа.

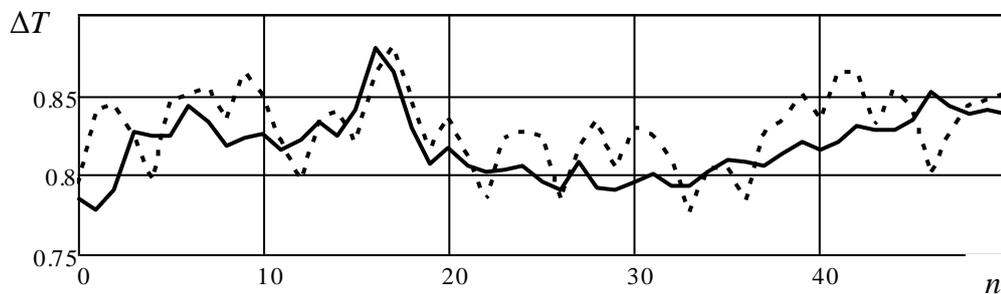


Рис. 7. Ритмограмма, полученная с ФМК (сплошная линия) и электрокардиографа (штриховая линия)

В целом совпадение результатов можно считать удовлетворительным. Общая медленная часть процесса воспроизводится хорошо. Ритмограмма ФМК более гладкая. Это не удивительно, т.к. сигнал ФМК связан с механической деятельностью сердца, в то время как ЭКГ фиксирует электрическую активность.

4. Заключение.

Результаты обработки экспериментальных данных, полученных с помощью ФМК, показывают возможность его практического использования для вибродиагностики различных объектов.

Совместно с изложенным методом адаптивной фильтрации на основе функций Гаусса-Эрмита ФМК обеспечивает получение достоверных сведений о состоянии объекта даже при наличии помех и маскирующих процессов. но и для диагностики функционирования различных машин и механизмов.

Библиографический список

1. Назолин А. Л. Обнаружение дефектов машин и механизмов циклического действия по временным и виброакустическим параметрам. // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва – 2013
2. О. Ю. Матюшкова В. Ю. Тэттер Современные методы виброакустического диагностирования // Омский научный вестник. – 2013, №3.
3. Malik M: Heart rate variability. Curr Opin Cardiol 13: 36-44, 1998

² Полный вариант обработки сигнала оформлен в виде программы для ПК, которая прошла государственную регистрацию – свидетельство № 2017610415 10 января 2017.

4. Каменская В.Г., Музалевская Н.И., и др. Показатели флюктуаций кардиоинтервалов при различных функциональных состояниях дошкольников, Физиология человека, 2001, том 27, №3, с. 89-94/
5. Абрамов, А. В. Амосова, А. И. Анищенко, Л. Н. и др. Биорадиолокация.- М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 369с.
6. Электронный ресурс <http://www.afs52.ru>
7. Яковлев, А. Н.. Введение в вейлет-преобразования: Учеб. пособ. – Новосибирск.: НГТУ, 2003. – 104с.
8. Янке, Е. Эмде, Ф. Лёш, Ф. Специальные функции. Издательство «Наука». Москва, 1964. – 344 с.
9. Балакин, Д.А., Штыков, В.В. Построение ортогонального банка фильтров на основе преобразований Эрмита для обработки сигналов // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 9.