Литература

1. Стефанюк В.Л., Цетлин М.Л.. О регулировке мощностей в коллективе радиостанций // Проблемы передачи информации. Вып. 4, 1967.
2. Силин А.В., Козлов С.Е. Задачи управления мощностями излучения передатчиков с целью обеспечения электромагниной совместимости радиоэлектронных систем в комплексе связи // Электромагнитная совместимость. Горький, 1978.
3. Мейров М.В. Исследование и оптимизация многосвязных систем управления. М.: Наука, 1986.
4. Виноградов Е.М. Винокуров В.И., Харченко И.П. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Л.: Судостроение,1986.
5. Егоров Е.И.,Калашников Н.И., Михайлов А.С. Использование радиочастотного спектра и радиопомехи.
6. Колмогоров А.Н.. Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа.- М.: наука.1981.
7. Стоян Ю.Г.,Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования.-Киев:Наук.думка, 1986.

УДК 621.391

ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ

Е.В. Мельникова

Аспирантка кафедры биомедицинских электронных устройств и систем Харьковского национального университета радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, Харьков, Украина, 61166.

Контактный тел.: +38(057) 702-13-64

e-mail: mel_hel2002@yahoo.com

В данной работе предлагается использование вейвлет-технологий для первичной обработки электрокардиосигнала. Проведен анализ существующих вейвлет-функций для выбора базовой, представлены результаты сжатия электрокардиосигнала с использованием различных пороговых правил с выбором оптимального по критерию нормы сжатия и восстановления. Результаты могут быть использованы в системах кардиодиагностики, в частности для исследования тонкой структуры ЭКГ.

Одной из важнейших проблем анализа электрокардиограмм (ЭКГ) при помощи ЭВМ является получение максимального объема диагностической информации при минимальной размерности массива данных.

Решение этой проблемы связано с переходом на новые технологии обработки электрокардиосигнала (ЭКС). Разработка принципиально нового математического аппарата представления сигналов, а также инструментальных и програмных средств для его реализации, открывает новые возможности для улучшения качества регистрируемой ЭКГ и повышения её информативности. В данной работе предлагается для обработки ЭКС использовать вейвлет-технологии обработки сигналов, применение которых позволяет существенно повысить качество обработки и анализа ЭКГ.

В настоящее время накоплен значительный опыт по обработке и анализу ЭКГ. Успехи ЭКГ-диагностики во многом связаны с использование математического аппарата представления сигналов в виде рядов Фурье. Однако, в последние годы стало очевидно, что он оказывается малоэффективным при описании локальных особенностей функций (пиков, резких перепадов и т.п.). Это связано с тем, что базисная функция рядов Фурье – синусоида определена в пространстве от $-\infty$ до $+\infty$ и по своей природе является гладкой и строго периодической функцией. Такая функция на практике (в условиях ограничения числа членов ряда или спектра разложения) принципиально не способна описывать произвольные сигналы и функции [1]. Вейвлет-функции свободны от указанных недостатков, что объясняет качественно новые возможности вейвлет-технологий обработки сигналов.

Поскольку качество всех последующих этапов обработки и анализа ЭКГ напрямую зависит от точности кодирования кривой, а также от качества предварительной обработки ЭКС (этапов сжатия и очистки сигнала от шума), то целесообразно применение вейвлет-технологий для решения проблем кодирования кривой ЭКГ с целью выявления диагностически ценной информации и сжатия полученных данных с максимальным сохранением их информативности, что и рассматривается в данной работе.

Выбор оптимального базиса вейвлетов для кодирования сигнала является трудной и пока математически не решенной задачей. Известен ряд критериев построения “хороших” вейвлетов, но, тем не менее, наилучшая комбинация этих свойств неизвестна. Выбор конкретного вейвлета зависит от данного анализируемого сигнала и определяется интуицией и практическим опытом исследователя[2].

В качестве основных требований к вейвлет-базису, применяемому в обработке ЭКС, можно указать:

- обеспечение реконструкции сигнала;
- обеспечение непрерывного и дискретного преобразований с применением алгоритмов быстрого вейвлет-преобразования (БВП).

Для проверки влияния типа базисной вейвлет-функции на качество представления сигнала ЭКГ выбраны вейвлеты Хаара, Добеши, Симлета, Койфлета и В-сплайновые биортогональные вейвлеты различных порядков, как наиболее отвечающие данным требованиям. Исследования проводились на сигнале стандартной ЭКГ-покоя, представленном 3090 отсчетами (частота дискретизации

500 Гц). В качестве критерия точности реконструкции ЭКС взята норма разности исходного (s) и реконструированного (sr) сигналов.

Диаграмма распределения нормы реконструкции сигнала ЭКГ различными типами вейвлетов приведена на рисунке 1.

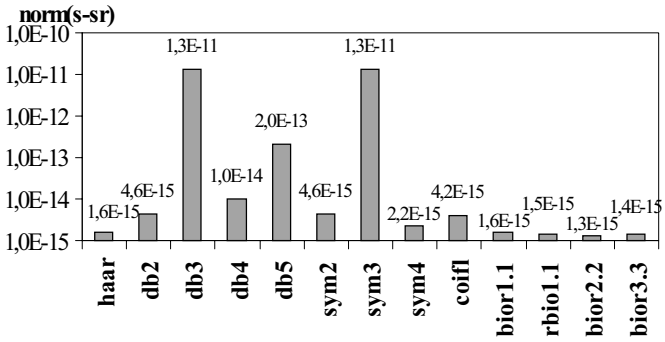

Рисунок 1. Диаграмма распределения нормы реконструкции сигнала ЭКГ различными типами вейвлетов.

Наилучшую реконструкцию сигнала ЭКГ обеспечивают биортогональные вейвлеты. Это объясняется тем, что для декомпозиции и реконструкции сигнала используется пара вейвлетов (один вейвлет используется в анализе, а другой – при синтезе). Неплохую реконструкцию обеспечивают и вейвлеты Симлета (sym), что объясняется их симметричностью. Точность реконструкции вейвлетами Добеши (db) зависит от порядка фильтра. Можно отметить, что наилучшую реконструкцию среди них обеспечивает вейвлет db2. Причем, точность реконструкции сигнала ЭКГ вейвлетами Добеши четных порядков лучше, чем вейвлетами нечетных порядков.

Количество анализируемых периодов сигнала оказывает влияние на точность реконструкции сигнала ЭКГ, однако в случае вейвлет-преобразования это влияние незначительное.

В основе вейвлет-технологий обработки сигналов лежат специальные алгоритмы быстрого преобразования [3].

При разложении сигнала ЭКГ использовались алгоритм Малла и адаптивный алгоритм (с использованием пакетов вейвлетов). В адаптивном алгоритме в качестве критерия при выборе наилучшего дерева разложения принята минимальная энтропия. Сравнение проводилось с БПФ.

Степень реконструкции сигнала ЭКГ при использовании БПФ, алгоритма Малла и адаптивного алгоритма на разных уровнях детализации представлена на рисунке 2.

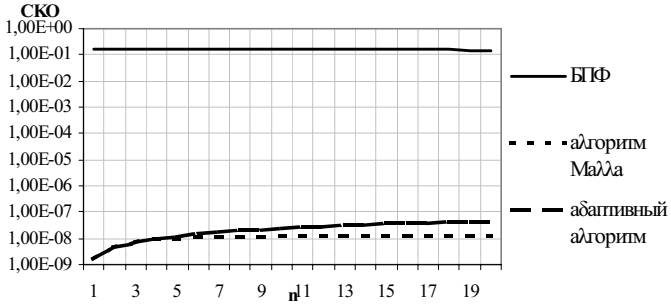

Рисунок 2. Степень реконструкции сигнала ЭКГ при использовании БПФ, алгоритма Малла и адаптивного алгоритма на разных уровнях детализации (n).

Очевидно, что точность представления сигнала ЭКГ при БПФ на шесть порядков хуже чем при БВП. Если при БПФ с увеличением уровня разложения (т. е. числа коэффициентов) точность представления ЭКС увеличивается, то для алгоритма Малла и адаптивного алгоритма эта зависимость обратна.

Результаты моделирования показали, что алгоритм Малла обеспечивает более точное представление сигнала ЭКГ, но для сжатия сигнала и его очистки от шумов более широкими возможностями обладает адаптивный алгоритм.

Вейвлеты открывают новые подходы в сокращении избыточной информации. Суть одного из таких подходов заключается в ограничении уровня детализирующих коэффициентов. Возможно как глобальное ограничение всех коэффициентов по уровню, так и локальное ограничение, а также различные типы порогов [4]. Такое разнообразие позволяет находить индивидуальный подход к сжатию конкретного сигнала.

Для выбора оптимального подхода к сжатию сигнала ЭКГ был проведен ряд экспериментов. Исследовался прежний кардиосигнал, оценивались нормы сжатия и восстановления.

При исследовании влияния типа базисного вейвлета на результаты сжатия ЭКГ для разных порогов и пороговых правил наибольшую эффективность сжатия дало использование вейвлетов Добеши. Наилучшее восстановление кривой ЭКГ после сжатия обеспечивает вейвлет db3, однако при высоких степенях сжатия норма восстановления резко падает. Здесь лучшие результаты дает использование вейвлетов db4 и bior1.1. Причем это характерно для всех типов порогов.

Выбор порога сжатия также определяет степень компрессии ЭКС и его восстановления. Если в качестве базисного выбрать вейвлет db3 (как обеспечивающий наилучшие возможности) и провести компрессию ЭКС с применением различных пороговых правил (жесткий и мягкий пороги, логарифмический, минимаксный, эвристическая и адаптивная установки порогов по методу Штейна) с последующей его реконструкцией, наилучшими показателями сжатия и восстановления сигнала ЭКГ обладает адаптивная установка жесткого порога по методу Штейна.

Высокая точность представления ЭКГ, которую обеспечивают вейвлет-технологии, позволяет использовать их в диагностических системах исследования тонкой структуры ЭКГ-сигнала, в частности для анализа поздних желудочковых потенциалов[5].

Высокая степень сжатия ЭКГ дает возможность использовать диагностические алгоритмы высокой степени сложности не только в стационарных, но и в портативных устройствах регистрации и анализа ЭКГ.

Литература

1. Чуи Ч. Введение в вэйвлеты: Пер. с англ.// Под ред. Я.М. Жилейкина. – М.: Мир, 2001. – 412 с.: ил.

2. Дремин И.М. и др. Вейвлеты и их использование//Успехи физических наук, 2001. – Т.171. – № 5. – С.465-501.

3. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. – СПб.: ВУС, 1999. – 204 с.: ил.

4. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. - М.:СОЛОН-Р, 2002. - 448с.: ил.

5. Легконогов А.В. Результаты и перспективы изучения поздних потенциалов желудочков//Кардиология, 1997. – №10. – С.57-65.