



УДК 651.84

Дорош Н.В.^{1,2}, Кучмий Г.Л.¹Бойко О.В.², Дорош О.И.³

¹НУ «Львовская политехника», кафедра электронных приборов

²Львовский национальный медицинский университет имени Данила Галицкого, кафедра медицинской информатики

³Национальный университет «Киево-Могилянская академия», факультет информатики

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПРИЗНАКАМИ НАРУШЕНИЯ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В БАЗИСАХ ФУРЬЕ ТА УОЛША

©Дорош Н.В., Кучмий Г.Л., Бойко О.В., Дорош О.И., 2012

В статье приведены результаты моделирования алгоритмов выявления нарушений сердечного ритма на основе спектрального анализа электрокардиографических (ЭКГ) сигналов в базисах Фурье и Уолша для разных типов ЭКГ в среде пакета прикладных программ MathCad. Проведено сравнение эффективности использования алгоритмов быстрых дискретных преобразований Фурье (БПФ) и Уолша (БПУ) для проведения спектрального анализа ЭКГ. Показано, что использование алгоритмов быстрого преобразования Уолша (БПУ) позволяет уменьшить количество вычислительных затрат на реализацию алгоритмов анализа ЭКГ-сигналов с разными типами нарушения сердечного ритма и повысить эффективность выявления диагностических признаков.

The work presents the results of modeling algorithms of heart rate's disturbance detection that are based on the spectral analysis of electrocardiographic signals in Fourier's and Walsh's basis for different types of EKG in MathCAD. The efficiencies of algorithms of fast discrete Fourier transformation and Walsh transformation used for performing spectrum analysis of EKG were compared. It's shown that using algorithms of fast Walsh transformation one can reduce the amount of calculations for implementation of the algorithms of EKG-signals analysis with different types of heart rate's disturbance and enhance the efficiency of diagnostic indicators detection.

1. Вступление

Одной из актуальных задач современной электроники и медицинской информатики есть исследование параметров медико-биологических сигналов, моделирование алгоритмов для их анализа и разработка электронных приборов, комплексов и систем для наблюдения за состоянием человеческого организма с целью контроля и анализа основных жизненно-важных функциональных параметров и предупреждение возникновения критических состояний [1].

Анализ нарушения сердечного ритма является важной задачей для выявления патологических изменений в сердечнососудистой системе человека и предупреждения тяжелых заболеваний. Основным методом выявления нарушения сердечного ритма есть анализ ЭКГ-сигналов в частотных параметрах, или спектральный анализ с использованием алгоритмов быстрых спектральных преобразований в разных базисах ортогональных функций (Фурье, Уолша, Хаара, на основании вейвлет-преобразований нестационарных сигналов и др.). Разработка и моделирование алгоритмов спектрального анализа ЭКГ-сигналов с признаками нарушения сердечного ритма в разных базисах



функций позволит оптимизировать существующие диагностические методики с точки зрения вычислительных затрат, разработать специализированное программное обеспечение для медицинских электронных приборов и систем, что даст возможность повысить точность и информативность оценок и качество диагностики заболеваний[2].

Моделирование медико-биологических объектов и процессов в них предполагает наличие значительного количества экспериментальных данных, которые получаются информационно-вычислительными системами и на основе каких проводят верификацию моделей и анализ точности процесса моделирования. Перспективным направлением есть разработка информационно-вычислительных систем на основе интеллектуальных биосенсоров, а также проведение анализа структурно-схемных решений биосенсоров, разработка компонентов биосенсоров на основе емкостных структур, формулирование понятия интеллектуальных функций биосенсоров и реализации этих функций с использованием современной элементной базы.

2. Методика исследований

Моделирование алгоритмов анализа нарушения сердечного ритма можно проводить спектральными методами с использованием разных базисных функций на основе быстрых преобразований Фурье, Уолша, Хаара, Вейвлет-функций и др. В работе было проведено моделирование алгоритмов анализа сердечного ритма в базисах Фурье и Уолша для разных типов ЭКГ-сигналов с признаками нарушения сердечного ритма в среде пакета прикладных программ MathCad.

Алгоритм моделирования включает формирование массивов исследуемых ЭКГ-сигналов и определение спектрального склада этих сигналов в базисах Фурье и Уолша с использованием алгоритмов быстрых спектральных преобразований. Базой анализа было избрано два периода кардиоцикла ЭКГ-сигнала в норме. Количество отсчетов на интервале анализа и размерность спектрального преобразования $N=32$.

2.1.Последовательность операций алгоритма

1. Формирование массивов отсчета ЭКГ-сигнала в норме X_{1i} и выбор размерности спектрального преобразования N .
2. Выбор типа сигнала для анализа (ЭКГ-тахикардия X_{2i} , ЭКГ-брадикардия X_{3i} , ЭКГ-аритмия X_{4i}).
3. Формирование массива отсчета исследуемого сигнала.
4. Выбор базиса для анализа сигналов. Если выбирается базис Фурье, то рассчитываются спектральные коэффициенты Фурье ($СКФ-Y_k$) для исследуемого сигнала. Если выбираем базис Уолша, то рассчитываются спектральные коэффициенты Уолша ($СКУ-Z_k$) для исследуемого сигнала.
5. Формирование графических зависимостей Y_k и Z_k .
6. Проверка условия, все ли сигналы проанализированы. Если нет, то возвращение к пункту 2 и переход к анализу следующего сигнала.
7. Сравнение спектрального склада исследуемого сигнала со спектральными коэффициентами ЭКГ-сигнала в норме.
8. Изменение базы анализа (изменение длительности интервала анализа, или начала интервала анализа). После замены алгоритм возвращается в пункт 3 и анализ повторяется для нового значения базы.
9. Определение оптимальной базы анализа и базиса функций. Оптимальной базой (и базисом) будем считать те, для которых разница в спектральном складе сигналов с нарушенным ритмом сравнительно с нормой будет самой большой.



10. Вывод результатов моделирования в аналитическом и графическом виде.

Результаты моделирования в среде пакета MathCad согласно рассмотренного алгоритма наведено на рисунках 1-5.

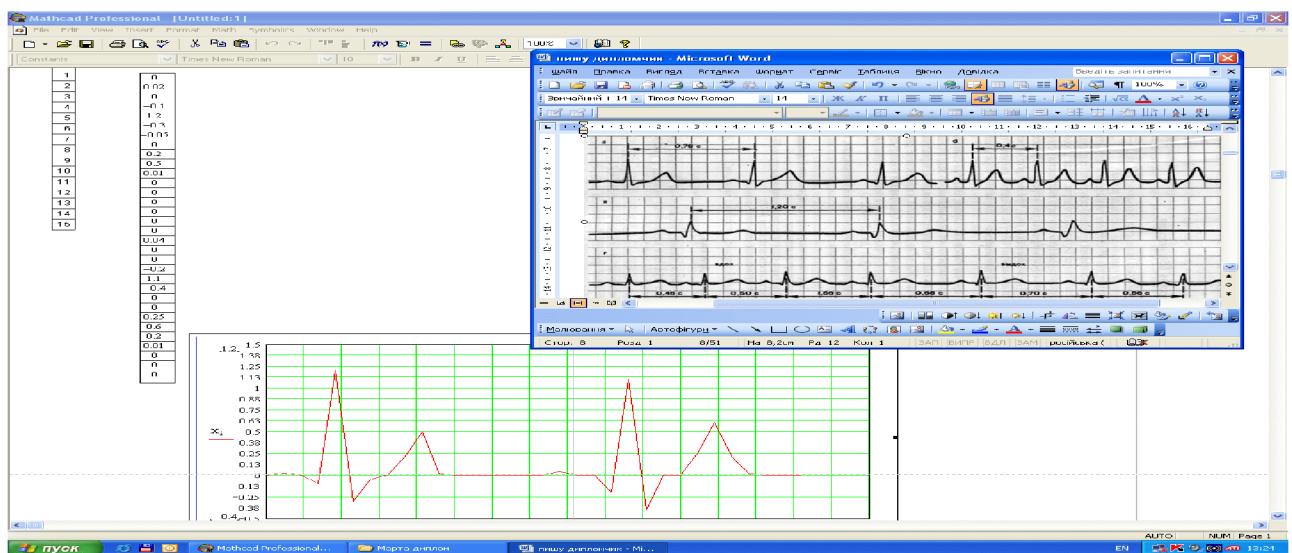


Рисунок 1. Окно моделирования 1. Спектральный анализ ЭКГ-сигналов в базисе Фурье.

2.2. Спектральные преобразования

Спектральный анализ предполагает определение спектральных коэффициентов ЭКГ-сигналов (ЭКГ1-ЭКГ4) с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Последовательность операций:

1. Формирование массивов отсчета сигнала ЭКГ-1 (норма).
2. Расчет спектральных коэффициентов Фурье сигнала ЭКГ-1, где Y1-массив спектральных коэффициентов, k1-номер СК.

```
Y1 := fft(X1)    i1 := 1€
i1 := last(Y1)   k1 := 0..i1
```

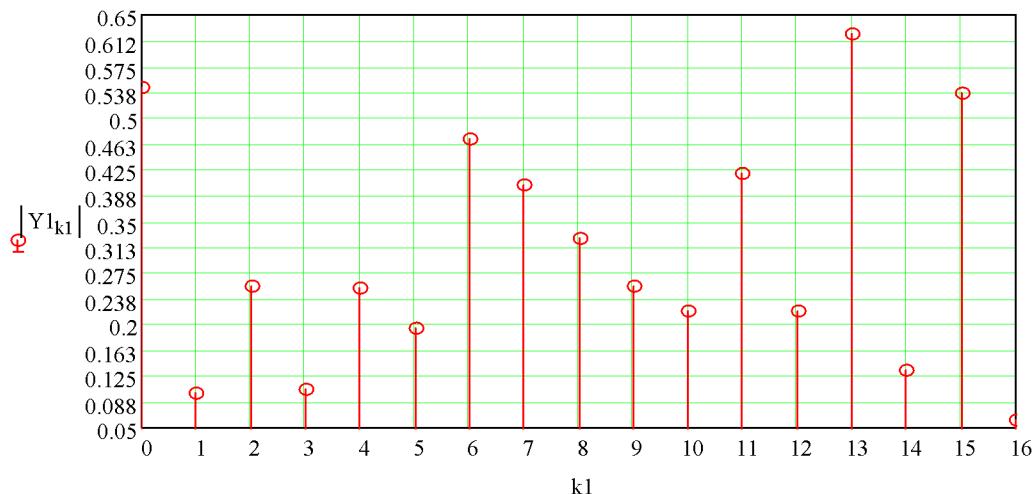


Рисунок 2. Результаты определения спектральных коэффициентов Фурье.

3. Аналогично были проведены расчеты для сигналов ЭКГ с отклонениями (тахикардия, брадикардия, аритмия).
4. Результаты сравнения спектрального склада сигналов ЭКГ-1 – ЭКГ-4 (Фурье- анализ):

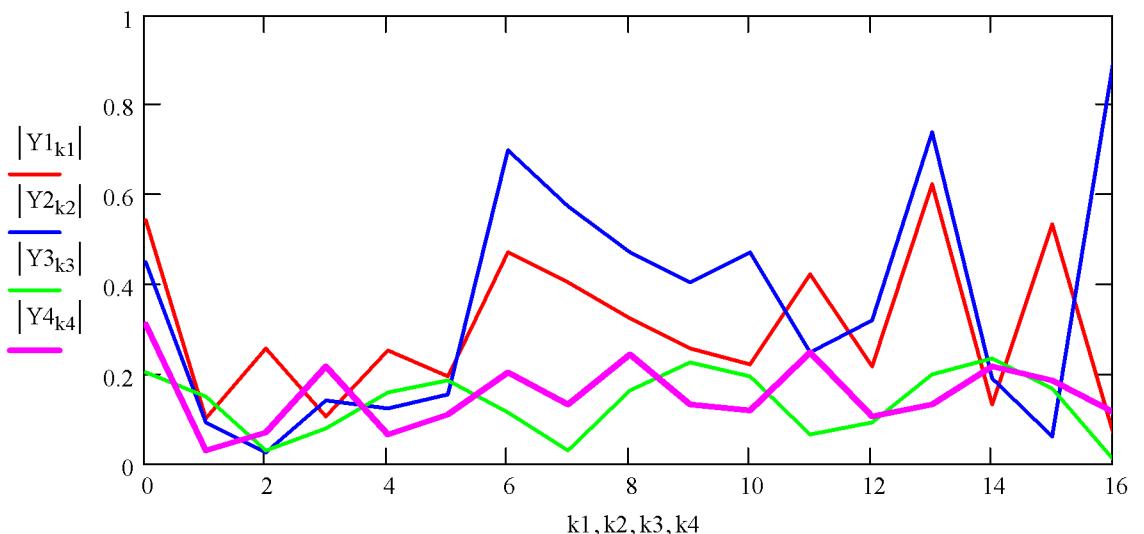


Рисунок 3. Сравнительная спектральная характеристика сигналов ЭКГ-1, ЭКГ-2, ЭКГ-3, ЭКГ-4 на основе сигналов Фурье.

2.3. Спектральный анализ ЭКГ-сигналов в базисе Уолша.

Спектральный анализ предполагает определение спектральных коэффициентов ЭКГ-сигналов (ЭКГ1-ЭКГ4) с использованием алгоритма быстрого преобразования Уолша. Ниже приведены результаты моделирования по операциям.

1. Формирование массива отсчетов сигнала ЭКГ-1 (норма)(рисунок 1.).
2. Реализация алгоритма быстрого преобразования Уолша (БПУ) .
3. Расчет спектральных коэффициентов Уолша сигнала ЭКГ-1, где Z1-массив спектральных коэффициентов, k-номер СК.

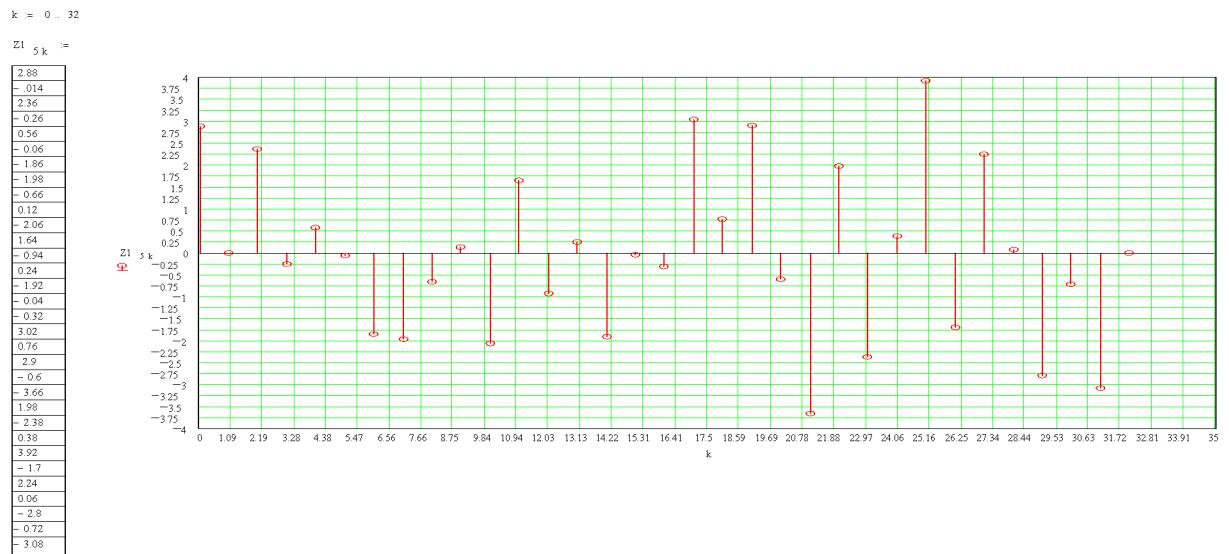


Рисунок 4. Результаты определения спектральных коэффициентов Уолша (ЭКГ1-норма)

4. Формирование массива отсчетов и расчет спектральных коэффициентов Уолша для сигналов ЭКГ с отклонениями (тахикардия, брадикардия, аритмия).
5. Сравнение спектрального склада коэффициентов для сигналов Z1,Z2,Z3,Z4.

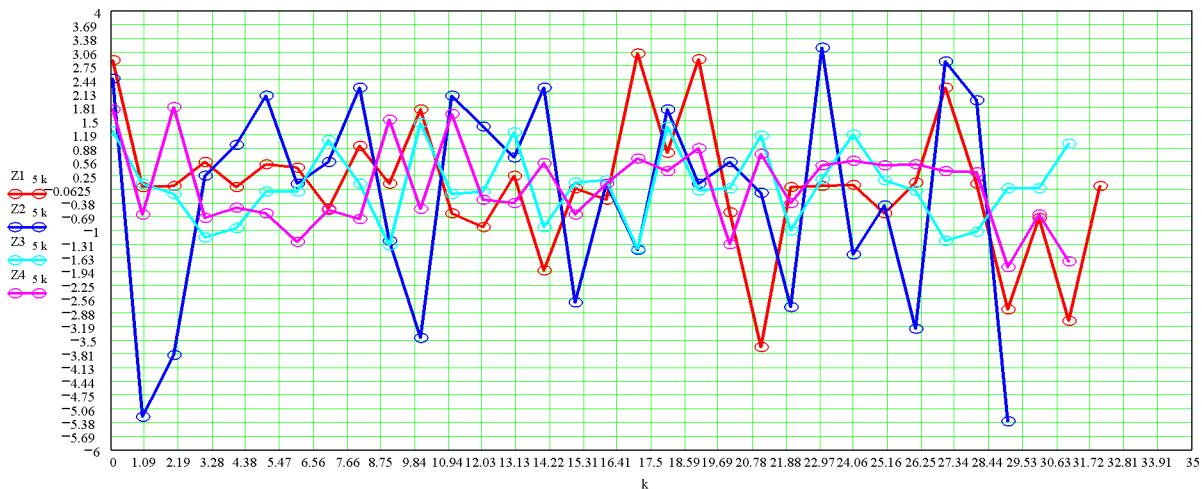


Рисунок 5. Сравнение спектрального склада сигналов ЭКГ1-норма(Z1) ,ЭКГ2-тахикардия(Z2), ЭКГ3-брадикардия(Z3) и ЭКГ4-аритмия(Z4)

3. Выводы

Сравнение результатов моделирования алгоритмов анализа нарушения сердечного ритма в базисах Фурье и Уолша показали, что спектральный склад исследуемых сигналов меняется при отклонении сердечного ритма от нормы в сторону высоких частот при тахикардии, и в сторону низких частот при брадикардии, причем в базисе Уолша наблюдались более значительные отклонения, чем в базисе Фурье.

Учитывая, что на реализацию алгоритмов анализа в базисе Уолша не необходимо меньше вычислительных затрат, можно считать такой метод перспективным для исследования вариабельности сердечного ритма.

[1] О.І.Дорош., Г.Л.Кучмій, Н.В.Дорош. Методи створення індивідуальних інтерактивно-аналітичних систем для тривалого контролю та аналізу біомедичних показників// Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. - № 36. – С.71-77.

[2] З.Ю.Готра, Н.В.Дорош, Г.Л.Кучмій, Н.Г.Іванушкіна. Розроблення та моделювання алгоритмів обробки та візуалізації електрографічних біомедичних сигналів// Электроника и связь'4. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии», 2010. - № 4-5. – С. 129-131.