

ПРОГРАММА ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ КОРРЕКЦИИ ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Кацапов А.Ю.

Давыдов М.В. – кандидат техн. наук, доцент

Исследование биоэлектрической активности головного мозга в виде традиционной скальповой электроэнцефалографии до настоящего времени остается информативным и относительно дешевым методом инструментальной диагностики состояния ЦНС в норме и различных патологических состояниях. Однако несмотря на многолетний опыт использования данной методики, проблема корректной трактовки результатов нейрофизиологического исследования и, в особенности, электроэнцефалограмм (ЭЭГ) является весьма актуальной. На практике встречаются ситуации, когда даже одна и та же биоэлектрическая активность, представленная в виде записи на бумаге, трактуется различными специалистами по-разному.

Обычный анализ ЭЭГ, осуществляемый на основании внешнего вида графиков, является весьма трудоемким и недостаточно объективным и точным. Поэтому актуальной является задача автоматизации процесса анализа ЭЭГ, выявления патологических паттернов и определения их количественных характеристик. Внедрение в практику цифровой записи сигналов с последующей их компьютерной обработкой позволяют сделать работу врача-нейрофизиолога более объективной. Кроме того, имеется целый ряд паттернов и графоэлементов электроэнцефалограмм, в отношении которых выработаны критерии их оценки.

Использование современных методов математического анализа позволяет существенно расширить диагностические возможности данного метода, и повысить точность получаемых результатов. Препятствием для их широкого внедрения стало разнообразие возможных методов анализа и сложность их реализации в медицинской практике, в частности, по причине жесткой привязки программного обеспечения к диагностическим устройствам. Это ограничивает диагностические возможности, поскольку исключает обработку сигналов, полученных с использованием аппаратуры других производителей.

Таким образом, актуальность настоящего исследования заключается в необходимости совершенствования существующих способов количественного анализа ЭЭГ у больных с поражением головного мозга различной этиологии с использованием современных методов математического анализа квазистационарного нелинейного сигнала и разработки аппаратнезависимого программного обеспечения, реализующего указанный вычислительный аппарат с применением современных компьютерных технологий.

Для обработки уже существующего ЭЭГ сигнала было использовано вейвлет преобразование.

Различают дискретный и непрерывный вейвлет анализ, аппарат которых можно применять как для непрерывных, так и для дискретных сигналов.

Сигнал анализируется путем разложения по базисным функциям, полученным из некоторого прототипа путем сжатий, растяжений и сдвигов.

Функция-прототип называется анализирующим (материнским) вейвлетом.

Вейвлет - функция должна удовлетворять 2-м условиям:

1. Среднее значение (интеграл по всей прямой) равно 0.
2. Функция быстро убывает при $t \rightarrow \infty$.

Обычно, функция-вейвлет обозначается буквой ψ .

В общем случае вейвлет преобразование функции $f(t)$ выглядит так:

$$W(x, s) = \frac{1}{s} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi * \left(\frac{t-x}{s} \right) f(t) dt \quad (1)$$

где t – ось времени, x – момент времени, s – параметр, обратный частоте, а $*$ – означает комплексно-сопряженное.

Главным элементом в вейвлет анализе является функция-вейвлет. Вообще говоря, вейвлетом является любая функция, отвечающая двум вышеуказанным условиям. Наибольшей популярностью пользуются два изображенных на рисунке 1 вейвлета:

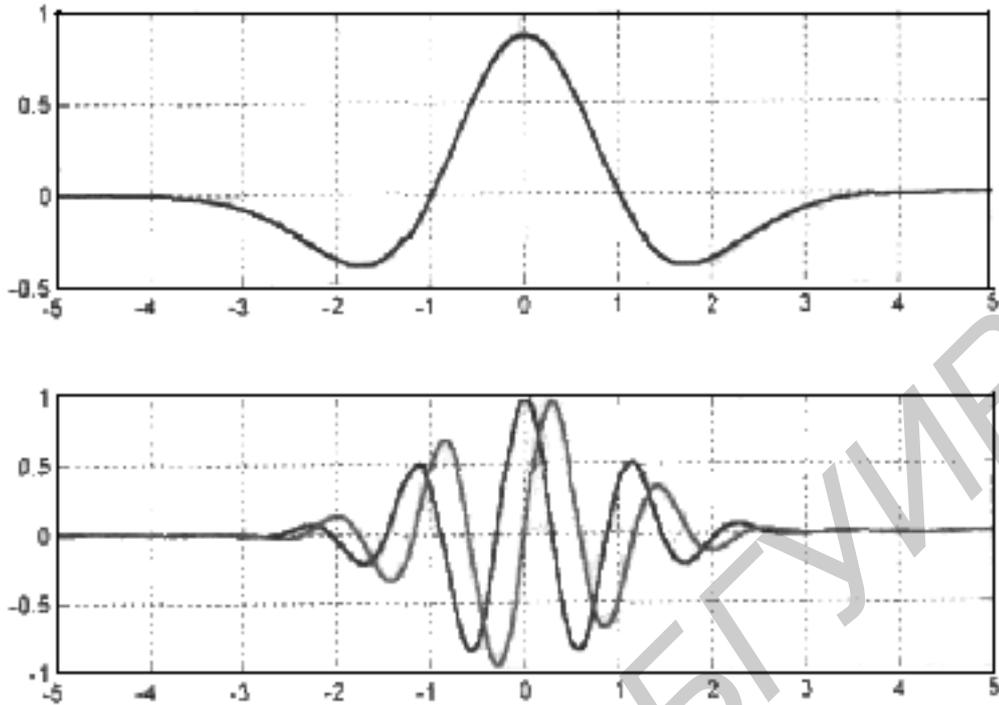


Рисунок 1 – Примеры вейвлетов

Сверху изображен вейвлет “сомbrero” (Mexican Hat), названный так благодаря своему внешнему виду. На нижней части рисунка 1 изображен вейвлет Морле. График любого вейвлета выглядит примерно также, как и вейвлет Морле. Заметим, что вейвлет Морле – комплекснозначный, на рисунке изображены его вещественная и мнимая составляющие.

Итак, у нас имеется некоторая функция $f(t)$, зависящая от времени. Результатом ее вейвлет-анализа будет некоторая функция $W(x,s)$, которая зависит уже от двух переменных: от времени и от частоты (обратно пропорционально). Для каждой пары x и s рецепт вычисления вейвлет преобразования следующий:

1. Функция вейвлет растягивается в s раз по горизонтали и в $1/s$ раз по вертикали.
2. Далее он сдвигается в точку x . Полученный вейвлет обозначается $\psi(x,s)$.
3. Производится усреднение в окрестности точки s при помощи $\psi(x,s)$.

В результате вырисовывается вполне наглядная картина, иллюстрирующая частотно-временные характеристики сигнала. По оси абсцисс откладывается время, по оси ординат – частота (иногда размерность оси ординат выбирается так: $\log(1/s)$, где s -частота), а абсолютное значение вейвлет преобразования для конкретной пары x и s определяет цвет, которым данный результат будет отображен (чем в большей степени та или иная частота присутствует в сигнале в конкретный момент времени, тем темнее будет оттенок).

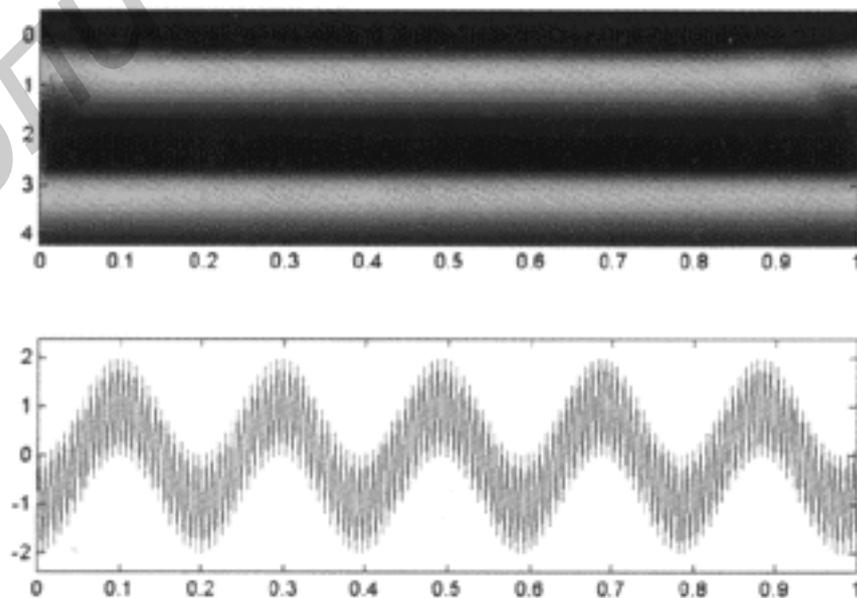


Рисунок 2 – Вейвлет преобразование стационарного сигнала

Данный рисунок показывает результаты вейвлет анализа для сигнала, представляющим из себя наложение двух синусоид различной частоты. Частотные характеристики данного сигнала не меняются во времени (сигнал стационарный), что хорошо видно на верхней части рисунка 2.

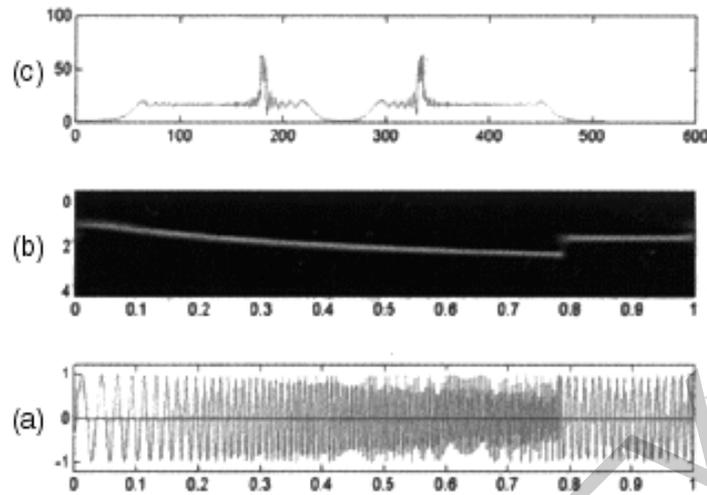


Рисунок 3 – Сравнение методов анализа

По рисунку 3 удобно сравнить результаты, которые дают преобразование Фурье и вейвлет преобразование. Исходный сигнал изображен на рис (3а). Как видно из рис (3с) преобразование Фурье дает информацию о том спектре частот, который присутствует в сигнале в промежутке времени от 0 до 1 сек., при этом нам неизвестно когда именно та или иная частота реально присутствовала в сигнале.

В то же время вейвлет преобразование (3б) дает исчерпывающую картину динамики изменения частотных характеристик во времени. Все это указывает на то, что вейвлет преобразование существенно более информативно по сравнению с преобразованием Фурье.

В качестве исследуемых сигналов в данной работе выступают электроэнцефалограммы больных эпилепсией. Анализ ЭЭГ производился в разные временные интервалы, что позволяет оценить воздействие возбуждающих факторов на самочувствие пациента. В качестве возбуждающего фактора использовалась светостимуляция различной частоты и длины волны. Также открывание и закрывание глаз, гипервентиляция.

Целью исследования является подбор материнского вейвлета и выявление с помощью вейвлет-преобразования эпилептиформной активности (медленная волна) на ЭЭГ.

В связи с тем, что ЭЭГ представляет собой хаотический сигнал часто визуально сложно определить интервалы с нарушением активности нейронов мозга. Нам в сигнале интересуют высокоамплитудные, длинные потенциалы. Их можно по-другому назвать термином - эпилептиформная активность.

Для просмотра полной картины ЭЭГ сигнала, а также для предварительного определения месторасположения и нужного отведения используем программу Нейрон-Спектр, так как чтение ЭЭГ без дополнительного ПО для человека, не имеющего медицинского образования не представляется возможным. В комплексе с этой программой воспользуемся MATLAB и встроенным пакетом Wavelet Toolbox. Было проведено исследование нескольких патологических ЭЭГ. Для обработки были выбраны 6 видов вейвлет-функций: Морле, Добеши, биортогональный 1-ой степени, обратный биортогональный 3-ей степени, симлет 4-ой степени, Хаара.

Графические элементы, соответствующие «медленным волнам», располагаются в интервале значений масштабирующего коэффициента a от 20 до 40-50. Так как частота «медленных волн» ниже, чем частота пиков, им соответствуют большие значения масштабирующего коэффициента. Однако визуально выделить на спектре именно те графические элементы, которые необходимо обнаружить на графике, представляется затруднительным. А также в результате проведенного исследования установлена целесообразность использования скейлограмм вейвлет-спектра сигнала. Применение скейлограмм позволяет упростить процедуру распознавания и повысить наглядность результатов.

В результате исследования было установлено, что наиболее наглядную картину нам предоставляет обработка сигнала с помощью обратного биортогонального вейвлета 3-ей степени. Стоит сделать замечание, что данный вейвлет подходит для выявления только паттерна под названием «медленная волна».

Список использованных источников:

1. Вейвлеты [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://relpress.website.ru/currier/5/wavelet/wavelet.htm>.
2. Метод обработки ЭЭГ [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.public.iastate.edu/~rpolikar/WAVELETS/WTpart1.html>.
3. Wavelets [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>.