

## ВЫЯВЛЕНИЕ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ ЭЭГ С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В. А. Голуб, И. Н. Козлова, Н. П. Серезенко

*Воронежский государственный университет*

Рассматривается задача исследования возможности выявления патологических паттернов ЭЭГ с использованием вейвлет-преобразования. Показано, что паттерны типа «пик» и «медленная волна» могут быть выявлены как непосредственно по вейвлет-спектрам ЭЭГ, так и по линиям равных уровней вейвлет-преобразования.

### ВВЕДЕНИЕ

Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) представляет собой отображение изменения электрических потенциалов головного мозга во времени. Выявление специфических особенностей ЭЭГ, проявляющихся как специфические паттерны, и анализ их вида и количества позволяют диагностировать заболевания центральной нервной системы. Обычно анализ ЭЭГ осуществляется врачом-электроэнцефалографистом на основании внешнего вида графиков. Такой анализ является весьма трудоемким и недостаточно объективным и точным, если обрабатывается запись ЭЭГ большой длительности, например выполненная в течение суток. Поэтому является актуальной задача автоматизации процесса анализа ЭЭГ, выявления патологических паттернов и определения их численных характеристик.

Алгоритмы выявления патологических паттернов ЭЭГ по записи временного сигнала или по его Фурье-спектру являются недостаточно эффективными, что обуславливает необходимость поиска иных подходов к решению этой задачи.

Целью работы является анализ возможности использования вейвлет-преобразования для выявления некоторых типов патологических паттернов ЭЭГ, таких как пики и медленные волны.

### 1. ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Вейвлет-преобразование представляет собой разложение сигнала по базису, сконструированному из некоторых функций. Для построения базиса используется функция, называемая материнским вейвлетом. Эта функция может быть выбрана достаточно произвольным образом (специальный вид вейвлета может быть

необходим в ряде случаев для обеспечения эффективного решения задачи), но должна удовлетворять следующим условиям:

*Условие локализации.* Базисная функция  $\psi_0(t)$  должна быть хорошо локализована как в частотном, так и во временном представлении, то есть функция должна быть отлична от нуля на конечном интервале и обладать достаточной регулярностью.

*Условие допустимости.* Материнский вейвлет должен быть выбран таким образом, чтобы его Фурье-образ  $\hat{\psi}_0(\omega)$  удовлетворял условию

$$C_\psi = 2\pi \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\hat{\psi}_0(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty. \quad (1)$$

В большинстве практических случаев условие (1) эквивалентно требованию нулевого среднего:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi_0(t) dt = 0. \quad (2)$$

Набор базисных функций получается из базовой функции масштабированием и переносом по оси времени. Таким образом, базис вейвлет-преобразования состоит из функций вида

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi_0\left(\frac{t-b}{a}\right). \quad (3)$$

Здесь  $a$  представляет собой масштабирующий коэффициент, а  $b$  — параметр сдвига.

Вейвлет-преобразование осуществляется по формуле

$$\begin{aligned} [W_\psi f](a,b) &= |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{a,b}(t) dt. \end{aligned} \quad (4)$$

Результатом преобразования одномерного сигнала является функция двух переменных (по масштабу и по времени) — вейвлет-спектр

сигнала, отображаемый как поверхность в трехмерном пространстве [1, 2, 3]. Обычно используется представление вейвлет-спектра в виде проекции на плоскость  $ab$  с линиями уровня или с цветовым выделением участков, соответствующих разной высоте.

Вейвлет-спектр содержит полную информацию о сигнале. Характерной особенностью вейвлет-спектра является то, что он позволяет выявлять не только частотные характеристики сигнала, но и их локализацию во времени. При этом по внешнему виду вейвлет-спектра можно судить о подобии участков сигнала материнскому вейвлету.

## 2. ВЫЯВЛЕНИЕ ПАТТЕРНОВ ЭЭГ С ПОМОЩЬЮ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Диагностика на основе анализа ЭЭГ требует выявления определенных характерных особенностей — паттернов. Их количество и вид позволяют судить о наличии либо отсутствии патологии. Каждый паттерн определяется набором признаков: частотой, амплитудой, длительностью, повторяемостью. В таблице 1 представлены основные паттерны и их характеристики [5].

Рассмотрим выявление паттернов типа «пик» и «медленная волна» по вейвлет-спектрам ЭЭГ.

В качестве исходных данных использовались фрагменты ЭЭГ, записанных с частотой дискретизации 200 Гц, содержащие требуемые патологические паттерны. Записи имеют вид файлов, в которых хранятся последовательные величины потенциалов. Расчет вейвлет-спектров выполнялся с использованием математического пакета MATLAB 6.5. Оценивалась возможность выявления особенностей вейвлет-спектров, соответствующих различным паттернам.

Характерным для ряда патологических состояний является появление в записи ЭЭГ комбинаций «пик» — «медленная волна». Типичная запись паттерна «пик» — «медленная волна» представлена на рис. 1. Также на рис. 1 приведен вейвлет-спектр этого участка, вычисленный для материнского вейвлета типа МНАТ-вейвлет, который задается формулой [4]

$$\psi(t) = \left( \frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{-\frac{1}{4}} \right) (1 - t^2) \exp(-t^2 / 2). \quad (5)$$

На горизонтальной оси указано число отсчетов с момента начала измерения. Для сигнала по вертикальной оси откладывается уровень сигнала в мкВ, а для спектра вертикальная ось отражает изменение масштабного коэффициента.

На рис. 1 выделен один из участков сигнала с характерной особенностью типа «пик» и отве-

Таблица 1

Основные паттерны ЭЭГ

Название паттерна	Интервал длительностей, мс	Средняя длительность, мс	Амплитуда, мкВ
Пик	10—80	50	< 15
Острая волна	80—120	100	30—100
Медленная волна	120—300	200	> 100

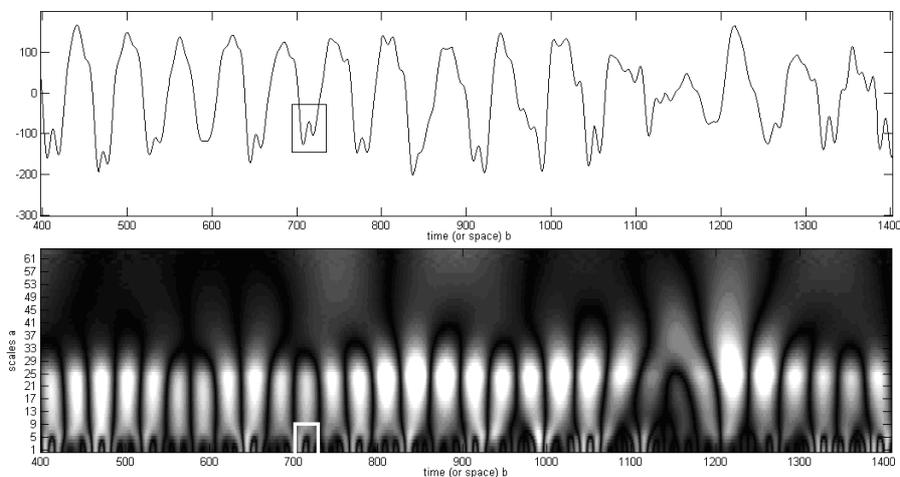


Рис. 1. Анализируемый сигнал и его вейвлет-спектр

чающий ему участок вейвлет-спектра. Паттерны типа «пик» имеют высокую частоту и поэтому соответствующие им участки вейвлет-спектра расположены в области малых значений масштабного коэффициента  $a$ .

Нетрудно видеть, что использование вейвлет-спектра может существенно упростить поиск пиков в записи ЭЭГ.

Повышение наглядности может быть достигнуто путем построения линий уровня вейвлет-спектра. Математически это означает, что при определенном уровне осуществляется сечение поверхности в трехмерном пространстве, представляющей вейвлет-преобразование, плоскостью. В результате формируются линии уровня — изолинии.

На рис. 2 приведен участок ЭЭГ и вейвлет-спектр этого участка в виде линий уровня, построенных с шагом 0.05. Предварительно вейв-

лет-спектр был нормирован на максимальное значение.

Если построить только те линии уровня, которые попадают в эмпирически установленные границы 0.51—0.56, то можно упростить картину, которая приобретает вид, приведенный на рис. 3, где участки, соответствующие «пикам» выделены с помощью стрелок.

Другим важнейшим типом паттерна, который необходимо определять в записи ЭЭГ является медленная волна. Осуществление операций, аналогичных описанным выше, позволяет выявить медленные волны по изолиниям вейвлет-спектра (рис. 4).

Использование различных материнских вейвлетов показывает, что наилучшие результаты по выявлению медленных волн достигаются при использовании Симлет-вейвлета порядка 4.

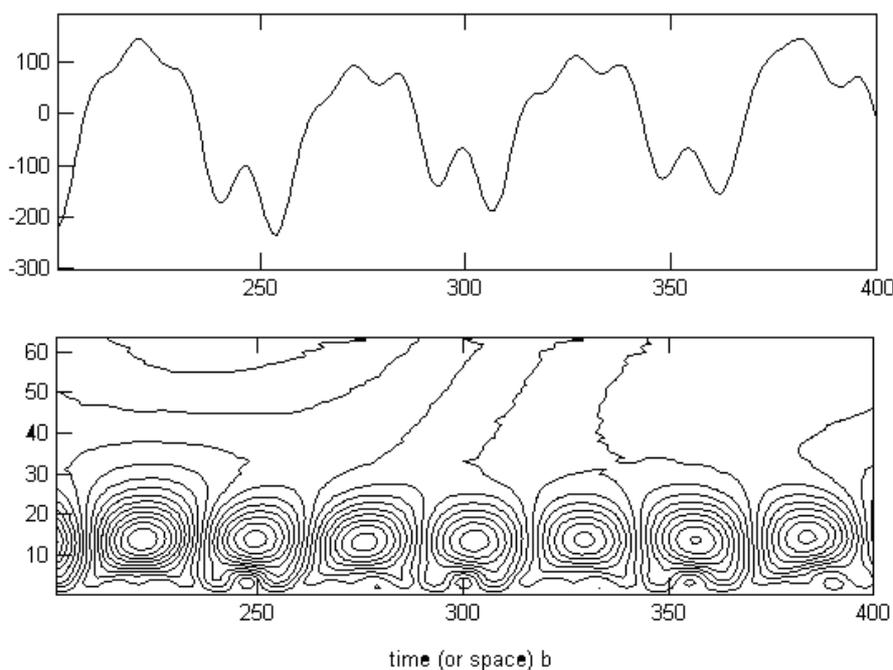


Рис. 2. Сигнал и линии уровня вейвлет-спектра

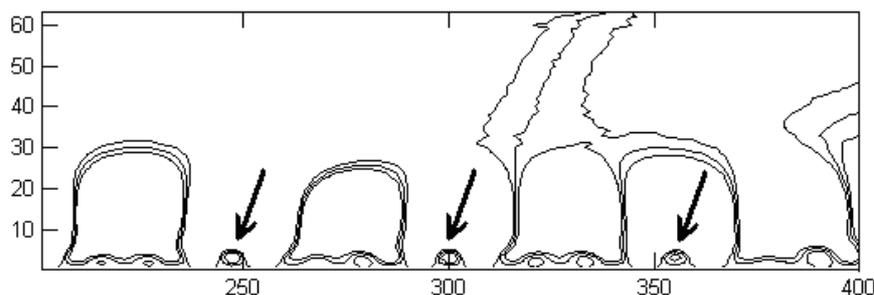


Рис. 3. Обнаружение паттернов типа «пик»

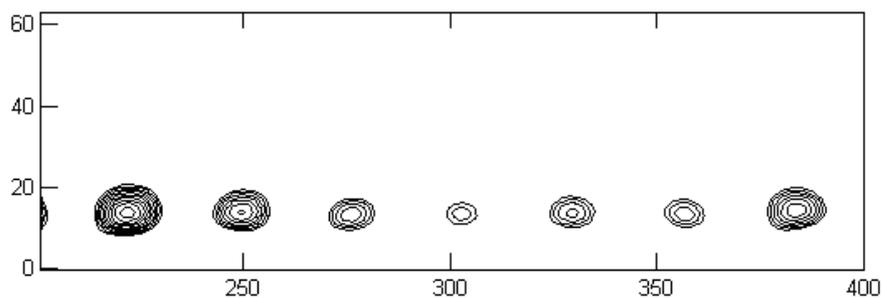


Рис. 4. Обнаружение паттернов типа «медленная волна».

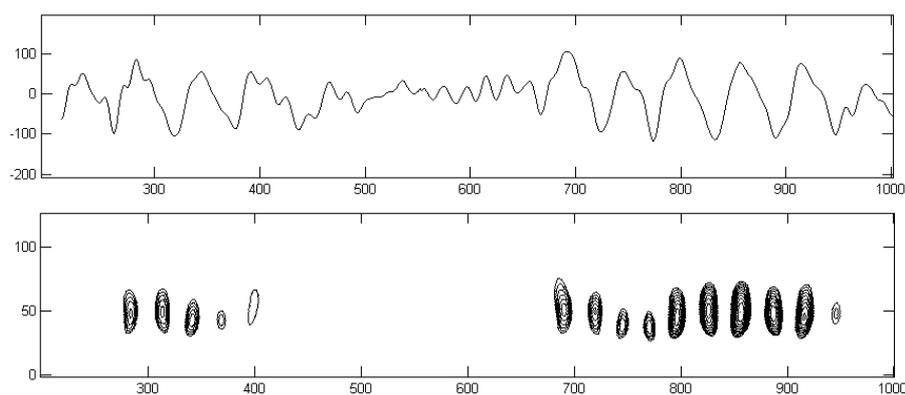


Рис. 5. Обнаружение паттернов типа «медленная волна» с помощью Симлет-вейвлета

На рис. 5. приведены результаты определения медленных волн по тестовой записи ЭЭГ. Как видно из рис. 5, предложенный в работе подход к выявлению патологических паттернов ЭЭГ и определенные параметры вейлет-спектров позволяют осуществлять временную локализацию паттернов и вычислять их количество на заданном временном интервале.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе показана принципиальная возможность эффективного распознавания патологических паттернов ЭЭГ типа «пик» и «медленная волна» по вейлет-спектрам ЭЭГ. Также показано, что переход от вейлет-спектра к изолиниям, представляющим собой линии сечения поверхности в трехмерном пространстве, изображающей вейлет-спектр, плоскостями, позволяет обнаружить указанные патологические паттерны, осуществить их временную локализацию и определить количество. Кроме того, были определены численные значения масштабных коэффициентов, необходимые для

автоматизации распознавания каждого из анализируемых паттернов. Дальнейшим направлением работы является анализ других патологических паттернов, таких как «острые волны», а также  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  - ритмов, и разработка специального программного обеспечения для обработки ЭЭГ на основе вейлет-преобразования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков И.Я. Основы теории всплесков / И. Я. Новиков, С. Б. Стечкин // Успехи матем. наук, 1998, т. 53, № 6. С. 53—128.
2. Добеши И.Р. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 464 с.
3. Короновский А.А. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения / А. А. Короновский, А. Е. Храмов. — М.: Физматлит, 2003. — 176 с.
4. Дьяконов В.В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений / В. Дьяконов, И. Абраменкова. — СПб.: Питер, 2002. — 608 с.
5. Бехтерев Н.П. Клиническая нейрофизиология / Н. П. Бехтерев. — Л.: Наука, 1972. — 720 с.

Статья принята к опубликованию  
25 октября 2007 г.