

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровский В.М. и др. Физиология человека. Т. 1 / В.М. Покровский, Г.Ф. Коротко, В.И. Кобрин и др. / под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротко. – М.: Медицина, 1997. – 448 с.
2. Сидоренко А.В., Солонович Н.А., Селицкий А.П. Информационно-измерительная система для оценки динамики функционального состояния мозга и сердца // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2007. – № 6. – С. 18–21.
3. Шукин С.И., Майстров А.И. Исследование информативности методов геометрического анализа фазовых портретов ритмокардиограмм // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2007. – № 6. – С. 3–11.
4. Сидоренко А.В., Ходулев В.И., Селицкий А.П. Нелинейный анализ электромиограмм // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2006. – № 11. – С. 53–59.
5. Лужнов П.В., Шамкина Л.А., Парашин В.Б. Разработка метода анализа вариабельности сердечного ритма при психофизиологических пробах для детекции эмоционально значимых стимулов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2005. – № 10. – С. 49–56.
6. Лужнов П.В., Парашин В.Б., Шамкина Л.А. Разработка графического анализа вариабельности сердечного ритма // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2004. – № 10. – С. 44–49.
7. Меклер А.А. К вопросу о выборе лаговых параметров при вычислении корреляционной размерности восстановленного аттрактора ЭЭГ // Теоретические и практические проблемы обучения в школе и вузе: Межвуз. сб. науч. трудов под ред. проф. Г.Г. Хамова. – СПб.-Мурманск, 2005. – С. 99–103.
8. Кохановская Ю.Г., Марченко В.В., Константинова Л.И. К вопросу о применении фазовых портретов для обработки электроэнцефалограмм // Научная сессия ТУСУР-2007: Матер. докл. Всерос. научно-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – г. Томск, 3–7 мая 2007. – Томск: В-Спектр, 2007. – С. 137–139.
9. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – 9-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.: ил.
10. Большев Л.И., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1965. – 464 с.

Поступила 14.04.2011 г.

УДК 519.688

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ ТРАВМЫ НЕРВОВ КОНЕЧНОСТИ ПО СИГНАЛУ ВЫЗВАННОГО МАГНИТНОГО ОТВЕТА

М.А. Макаров, Л.И. Константинова

Томский политехнический университет
E-mail: makarovf@sibmail.com

С использованием вейвлет-преобразования получено описание разности сигналов вызванных магнитных ответов. Выявлены информативные значения коэффициентов вейвлет-преобразования, помогающие определить степень тяжести травмы нервов конечности. Построены доверительные интервалы, показывающие соответствие определенному коэффициенту своей степени тяжести травмы. На основе границ доверительных интервалов создан алгоритм оценки степени тяжести травмы нервов конечности по сигналу вызванного магнитного ответа.

Ключевые слова:

Сигнал, дискретное вейвлет-преобразование, вейвлет-коэффициенты, степень тяжести травмы, непараметрическая оценка, доверительный интервал.

Key words:

Signal, discrete wavelet-transform, wavelet-coefficients, severity of injury, nonparametric estimation, confidence interval.

Для обработки нестационарных сигналов существует множество методов, самым эффективным из которых является метод нахождения матрицы вейвлет-коэффициентов из заданного сигнала.

В данной работе оценивался сигнал, получаемый в ходе транскраниальной магнитной стимуляции при раздражении нервов конечности и называемый вызванным магнитным ответом [1]. Ранее для оценки данного сигнала использовались два показателя: латентный период и размах амплитуды. С внедрением в математический аппарат вейвлет-преобразования стало необходимым применить его к данному типу нестационарных сигналов.

Вейвлеты – это обобщенное название особых функций, имеющих вид коротких волновых пак-

етов с нулевым интегральным значением и с той или иной, подчас очень сложной, формой, локализованных по оси независимой переменной (t или x) и способных к сдвигу по ней и масштабированию (сжатию или растяжению).

Вейвлеты стали нужным математическим инструментом во многих исследованиях. Их используют в тех случаях, когда результат анализа сигнала должен содержать не только простое перечисление его характерных частот (масштабов), но и сведения об определенных локальных координатах, при которых эти частоты проявляют себя. Таким образом, анализ и обработка нестационарных (во времени) или неоднородных (в пространстве) сигналов разных типов представляют собой основное поле применений вейвлет-анализа [2].

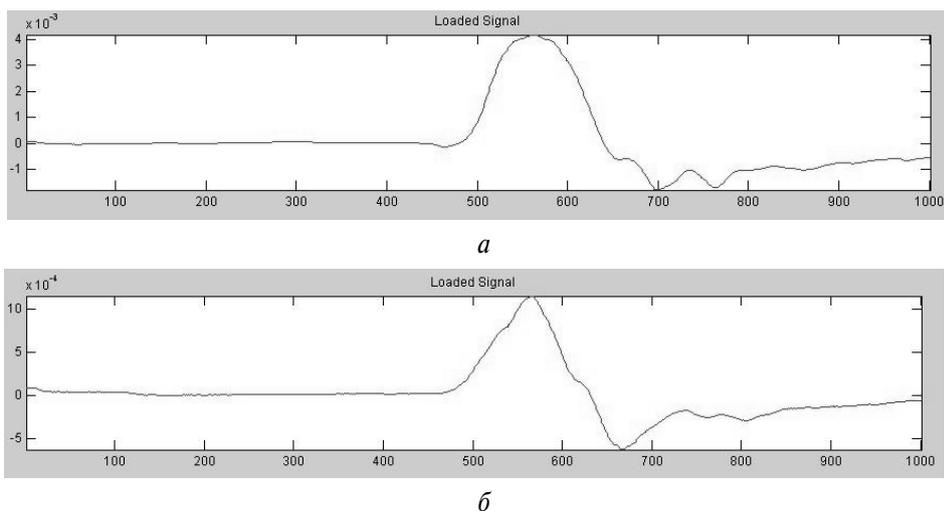


Рис. 1. Пример вызванного магнитного ответа у здорового (а) и больного (б) человека

Вейвлет-технология обработки изображений включена в расширения новейших систем компьютерной математики, таких как Matlab, Mathcad и Mathematica. В данной работе будут рассмотрены вейвлет-преобразования медицинского сигнала с помощью пакета Wavelet Toolbox системы Matlab [3].

Для преобразования сигнала вызванного магнитного ответа (ВМО) использовался вейвлет Гаусса, т. к. с его помощью наиболее точно и быстро восстанавливаются исходные сигналы, а значит учитываются особенности ВМО сигналов у больных с разной степенью патологии.

Формула для нахождения матрицы вейвлет-коэффициентов выглядит следующим образом:

$$W_{a,b} = \sum_i X_i \psi_{a,b},$$

где $\psi_{a,b}$ – это некоторая функция, называемая «материнский» вейвлет; X_i – значение дискретного сигнала. В качестве материнского использовался вейвлет Гаусса, а точнее его действительная часть. Он определяется как

$$\psi_{a,b} = -\frac{b}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{a^2}{2}}.$$

В формуле значения a и b являются масштабирующими коэффициентами по времени и частоте; a меняется от 1 до A ; b меняется от 1 до B . Рассчитывалась свёртка сигнала с масштабированным вейвлетом. Для каждого масштаба этим способом получался набор той же длины B , что и входной сигнал. Использовалось A произвольно выбранных масштабов и получалось поле, которое напрямую представляет плоскость время-частота [5].

Для проверки правильности выбранной функции материнского вейвлета необходимо восстановить исходный сигнал с помощью вейвлет-коэффициентов. Ниже представлены примеры исходного и восстановленного сигнала по коэффициентам вейвлета Гаусса, рис. 2.

Для каждого человека имелось два сигнала: от макушки головы до пораженного участка и от шеи до пораженного участка. Во врачебной практике

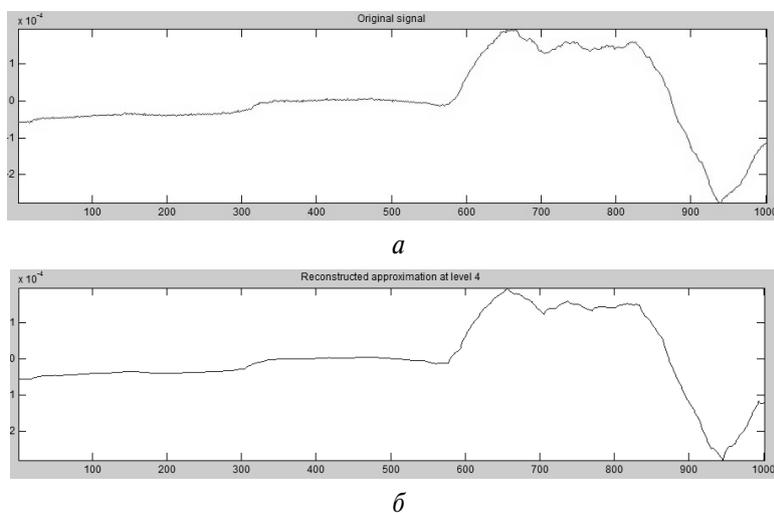


Рис. 2. Исходный (а) и восстановленный (б) сигналы

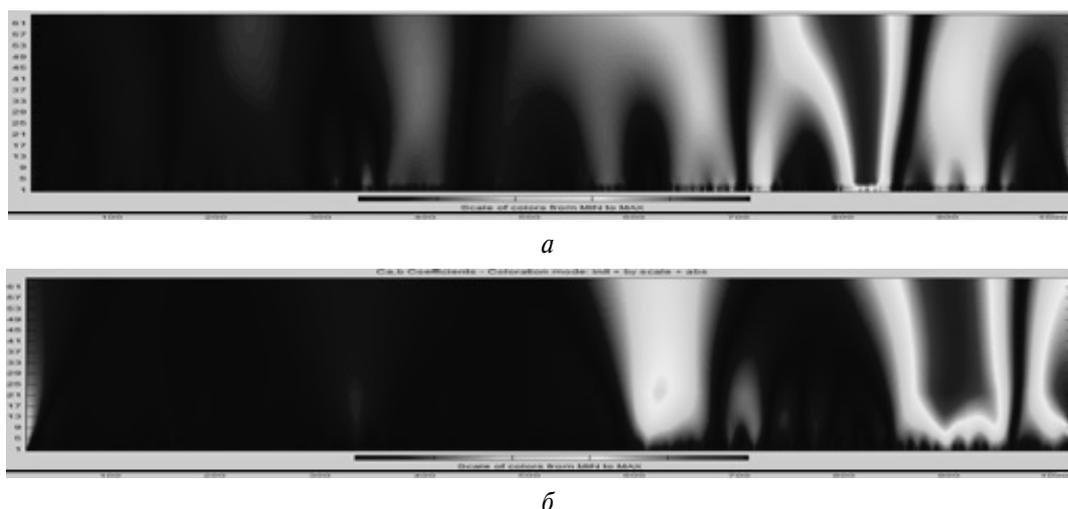


Рис. 3. Матрицы вейвлет-коэффициентов здорового (а) и больного (б) человека

использовалась разность между сигналами, снятыми с головы и шеи. То есть, при описании сигналов вейвлетом, получалась разность матриц вейвлет-коэффициентов:

$$K_{A \times B} = C_{A \times B}(h) - C_{A \times B}(n),$$

где $C_{A \times B}(h)$ – матрица коэффициентов сигнала макушки головы; $C_{A \times B}(n)$ – шеи.

Графики матриц вейвлет-коэффициентов здорового и больного пациента представлены на рис. 3.

Далее производится оценка степени тяжести травмы нерва конечности. Для этого предлагается использовать минимумы и максимумы отклонений значений вейвлет-коэффициентов для каждого больного от усредненных минимумов и максимумов значений вейвлет-коэффициентов здоровых людей, табл. 1.

Из таблицы видно, что при увеличении степени тяжести травмы увеличивается и отклонение значения минимума вейвлет-коэффициента.

Предварительно врачом-экспертом все больные разделены на 3 группы по степени тяжести травмы, где первая – самая легкая, третья – самая тяжелая.

Для оценки различий между этими группами используются доверительные интервалы. Данные из выборки отклонений не подчиняются законам нормального распределения. Поэтому для построения доверительного интервала используется непараметрический метод, и доверительный интервал строится для медианы. Затем по величине отклонений делается непараметрическая оценка доверительного интервала:

$$P\left(\text{Me} \pm 1,58 \frac{IQR}{\sqrt{n}}\right) = 0,95,$$

где P – доверительная вероятность оценки, равная 95 %; n – количество пациентов; Me – медианное значение для вектора отклонений; $IQR = Q3 - Q1$; $Q1$ и $Q3$ – величины, называемые квантилями;

$Q1 = O_i, i=25/100n$; $Q3 = O_i, i=75/100n$; O_i – отклонение экстремума вейвлет-коэффициента.

Таблица 1. Отклонения минимумов вейвлет-коэффициентов, соответствующих своей степени тяжести травмы нерва конечности от усредненного минимума коэффициента для здорового человека, %

Отклонение (I ст.т.)	Отклонение (II ст.т.)	Отклонение (III ст.т.)
11	33	60
11	33	62
14	38	71
17	40	77
18	42	78
20	47	84
22	47	86
23	48	89
25	49	89
25	51	89
27	52	90
28	53	91
28	54	93
	54	96
	56	97
		99
		104

Полученные значения доверительных интервалов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчетов доверительного интервала отклонений минимумов/максимумов коэффициентов разных степеней тяжести травм нервов конечности, %

Степень тяжести травмы	Q1	Q3	Me	IQR	lv	pr
I	16/17	22/25	19/22	6/8	18/18	24/25
II	37/40	53/53	45/48	16/13	38/43	50/53
III	74/78	85/93	80/89	3/15	72/83	82/94

lv и pr – левая и правая границы доверительного интервала.

Таблица 3. Результаты проверки алгоритма оценки состояния травмы, %

Пациент	Доверительный интервал			
	min(14; 24)		max(14; 27)	
	O_i	Результат	O_i	Результат
8	14	Да	22	Да
9	14	Да	11	Нет
10	14	Да	20	Да
11	16	Да	14	Да
12	20	Да	27	Да
13	20	Да	23	Да
14	21	Да	28	Нет
15	21	Да	25	Да
16	21	Да	25	Да
17	22	Да	11	Нет
18	24	Да	17	Да
19	27	Нет	28	Нет
20	27	Нет	18	Да

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин С.С. Методические основы транскраниальной магнитной стимуляции в неврологии и психиатрии. – М.: ГЭО-ТАР-Медиа, 2006. – 178 с.
2. Смоленцев Н.К. Введение в теорию вейвлетов. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 292 с.
3. Брайн Р.Х. Matlab@2007. – М.: Лучшие книги, 2007. – 352 с.

Далее осуществляется проверка полученных доверительных интервалов, табл. 3.

«Да» и «Нет» обозначают: входит или не входит данное значение в доверительный интервал.

Из анализа результатов данных по травмам всех степеней тяжести следует, что 14 % значений отклонений вейвлет-коэффициентов не вошли в доверительные интервалы. То есть данная оценка верна с вероятностью 86 %.

Выводы

Описание с помощью вейвлета Гаусса исходного сигнала вызванного магнитного ответа, полученного в процессе транскраниальной магнитной стимуляции, дает возможность использовать коэффициенты вейвлет-преобразования для оценки степени тяжести травмы нерва конечности. На основе предложенного алгоритма возможно создание программного обеспечения, которое поможет снизить риск ошибочной оценки состояния пациента и оптимизировать курс лечения.

4. Попова Л.В. Математические методы в оценке. – М.: Дело и сервис, 2011. – 112 с.
5. Грибунин В.Г. Введение в анализ данных с применением дискретного вейвлет-преобразования. – Новосибирск: АВТЭКС, 2007. – 30 с.

Поступила 23.06.2011 г.