

Классификация биомагнитных данных и диагностика патологий

Махортых С. А., Семечкин Р. А.

ruslan-impb@mail.ru

Пушкино, Институт математических проблем биологии РАН

Исследование причин развития нейродегенеративных заболеваний — одно из приоритетных направлений нейронауки. Проблема нейродегенеративных заболеваний стала в последние годы особенно острой в связи с увеличением продолжительности жизни в развитых странах Запада и ростом числа больных. Например, в США более 2 млн. человек страдают нейродегенеративными заболеваниями.

Актуальность данной проблемы обусловлена не только значительным числом больных, но и открывшимися во второй половине XX века возможностями добиваться существенного улучшения качества жизни этих пациентов. В данной исследовательской работе предложен комплексный метод классификации типов биомагнитного сигнала головного мозга по данным магнитной энцефалографии.

Магнитная энцефалография (МЭГ) — область современной математической биологии, занимающаяся изучением магнитных полей, связанных с высшей нервной деятельностью человека. МЭГ позволяет проводить исследование функциональных областей мозга и диагностику различных патологий [1, 3].

Исходные экспериментальные данные получены в Медицинской школе Нью-Йоркского университета. Измеряемый сигнал представляет собой пространственно-временную структуру: 148-мерный вектор измерений в 148 точках на поверхности головы, развернутый во временной ряд с частотой опроса датчиков 500 Гц.

Классификация сигнала

В последнее время интенсивно развивается подход к распознаванию, использующий спектральное представление сигнала ортогональными функциональными разложениями. Для распознавания типа активности сигнала предлагается следующий метод:

1. Векторизация данных МЭГ. Исходная функция $f(\theta, \varphi)$ определяется формулой

$$f(\theta, \varphi) = \sum_{l=0}^{l=N} \sum_{m=-l}^{l=l} a_{lm} Y(\theta, \varphi),$$

где коэффициенты разложения $a_{lm} = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi f(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi$.

2. Выделение наиболее информативных гармоник.

3. Удаление шума из выбранных гармоник при помощи дискретного вейвлет-преобразования.
4. Проведение кластерного анализа итеративным методом k -средних. Найденные моменты времени, в которых присутствует аномальная компонента, становятся исходными данными в задаче локализации участков мозга, связанных с рассматриваемой патологией.
5. Локализация источника повышенной биомагнитной активности в выбранные моменты времени.
6. Анализ стохастической динамики биомагнитного сигнала.

Результаты исследования

Распознавание типа сигнала методом кластерного анализа проведено в зависимости от спектральной характеристики сигнала. Всего выделено четыре типа сигнала: А, В, С и D.

Решение обратной задачи представлено для каждого момента времени в виде токового диполя с переменным моментом. Для моментов времени, в которых наблюдается сигнал типа А, источники биомагнитной активности находятся в мозжечке, для сигнала В — в мозжечке и стволе головного мозга, а для сигнала типа С — в стволе (черная субстанция). Для моментов времени, в которых наблюдается сигнал типа D, источники биомагнитной активности основную часть времени находятся в коре большого мозга.

Результаты локализации источников повышенной активности в записи магнитной энцефалограммы подтверждают существующее в медицине мнение о связи болезни Паркинсона с поражениями подкорковых областей мозга. В частности, имеются данные о связи заболевания с гибелью меланинсодержащих нейронов одного из подкорковых ядер головного мозга — черной субстанции. Высшим уровнем регуляции движений являются кора большого мозга, базальные ядра и мозжечок. Поэтому вызывает интерес то, что начало приступа Паркинсонизма, по результатам наших исследований, связано с одной из важнейших областей головного мозга — мозжечком, который не только обеспечивает непрерывный контроль двигательной активности, но и принимает участие в реализации когнитивного кодирования и памяти.

В ранее проведенных исследованиях [3] впервые было показано, что переключение из нормальной в аномальную активность приводит к упрощению динамики сигнала. Чем меньше корреляционная размерность аттрактора сигнала, тем более активным является источник этого сигнала. Таким образом, источник повышенной биомагнитной активности перемещается из мозжечка в ствол головного мозга во время вспышки паркинсонической активности. Об этом свидетельствует уменьшение значе-

ния корреляционной размерности: сигнал типа А — 5.04, сигнал типа В — 3.42, сигнал типа С — 1.86.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 07-01-00564, № 06-01-08039.

Литература

- [1] Устинин М. Н., Махортых С. А., Молчанов А. М. и др. Задачи анализа данных магнитной энцефалографии // Компьютеры и суперкомпьютеры в биологии, М.: Институт компьютерных технологий, 2002. С. 327–349.
- [2] Дедус Ф. Ф., Махортых С. А., Устинин М. Н., Дедус А. Ф. Обобщенный спектрально-аналитический метод обработки информационных массивов. Задачи анализа изображений и распознавания образов // М.: Машиностроение, 1999. — 357 с.
- [3] Дергузов А. В., Махортых С. А., Семечкин Р. А. Комплексная диагностика Паркинсонизма по данным магнитной энцефалографии // Электронный журнал «Исследовано в России», 2006. — С. 646–659. zhurnal.apc.relarn.ru/articles/2006/065.pdf.
- [4] Sarvas J. Basic mathematical and electromagnetic concepts of the biomagnetic inverse problem // Phys. Biol. — Vol. 32. — 1987. — pp. 11–22
- [5] Youdim M., Riederer P. Understanding Parkinson's disease // Scientific American. — Vol. 276. — 1997. — pp. 52–59.