

Таким образом, модификация структуры молекулы фотосенсибилизатора приводит к изменению его фотохимических свойств. Присоединение цепочек полиэтиленгликоля к хромофору делает краситель не только водорастворимым, но и более устойчивым к фотодеструкции. По той же причине замещение полиметиновой цепи ортофениленовым мостиком также заметно снижает значение квантового выхода фотодеструкции.

Лекарственные препараты для фотодинамической терапии должны обладать высокой стабильностью и при этом эффективно повреждать опухолевые клетки. Балансом между стабильностью и эффективностью фотосенсибилизатора можно управлять, изменяя структуру его молекул.

Библиографические ссылки

1. *Воропай Е. С., Самцов М. П.* Механизм фотосенсибилизации кислорода полиметиновыми красителями // *Опт. и спектр.* 1987. Т. 62, № 1. С. 64–67.
2. *Ищенко А. А.* Строение и спектрально-люминесцентные свойства полиметиновых красителей // *Успехи химии.* 1991. Т. 60, вып.8. С. 1708–1743.
3. *Voropay E. S., Lugovski A. A., Samtsov M. P., Kaplevsky K. N., Tarasau D. S., Petrov P. T., Istomin Y. P.* Novel indotricarbocyanine dyes covalently bonded to polyethylene glycol for theranostics // *J. Photochem. Photobiol. A : Chem.* 2016. Vol. 316. P. 31–36.

ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЬ РЕГИОНОВ МОЗГА ПРИ ВОСПРИЯТИИ КОНКРЕТНЫХ И АБСТРАКТНЫХ СЛОВ

Д. С. Сахарук, В. А. Бараев, А. А. Горлова

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
sakharuk2@gmail.com, baraewlad@gmail.com, g.nasta.work@gmail.com;
науч. рук. – П. М. Булай, канд. физ.-мат. наук, доц.*

В работе посредством анализа связанности временных числовых рядов, соответствующих электроэнцефалограммам, изучена взаимозависимость различных областей мозга на примере процесса восприятия конкретных и абстрактных слов. Для анализа связанности числовых рядов были применены авторегрессионная модель, фильтрация по Кальману, оценены причинность по Гренджеру, направленная согласованность и направленная функция передачи, разработаны новые методы визуального представления данных. Выявлена связь между экспериментально установленными и анатомическими причинами связности регионов мозга.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, связность, авторегрессия, причинность по Гренджеру, Кальмановская фильтрация, частичная направленная согласованность, направленная функция передачи.

РАБОТА, ПРЕДШЕСТВУЮЩАЯ ИССЛЕДОВАНИЮ

Многократный эксперимент включал в себя запись ЭЭГ продолжительностью 1,5 сек.: 0,3 сек. показывалось слово и 1,2 сек. на обработку слова мозгом. Слова были разделены на конкретные и абстрактные со-

гласно [1]. Активность мозга записывалась 128-канальной аппаратурой ЭЭГ, после чего проводились ЭЭГ локализация источников и статистический анализ, результатом чего была цифровая модель мозга с выделенными регионами, активными при восприятии только конкретных, или только абстрактных слов, или активными в обоих случаях.

МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ В РАБОТЕ

Авторегрессионная модель (АР-модель)

АР-модель используется для описания зависимости некоторой величины, временного ряда, от значений этой величины в прошлые моменты времени. Если величина зависит исключительно от себя, то модель называется Унивариативная АР-модель (УВАР). Зачастую, в частности ЭЭГ регионов мозга, исследуемая величина зависит также еще от предыдущих значений других подобных величин (например, ЭЭГ-данных других регионов мозга). В таком случае речь идет о Мультивариативной АР-модели (МВАР). Система математических уравнений для МВАР выглядит следующим образом [2]:

$$\begin{cases} Y_1(t) = \sum_{k=1}^p a_{1,1}(t,k)Y_1(t-k) + \dots + \sum_{k=1}^p a_{1,m}(t,k)Y_m(t-k), \\ \dots \\ Y_m(t) = \sum_{k=1}^p a_{m,1}(t,k)Y_1(t-k) + \dots + \sum_{k=1}^p a_{m,m}(t,k)Y_m(t-k), \end{cases}$$

где $a_{i,j}(t,k)$ – коэффициенты АР-модели, которые зависят от момента времени t , числа предыдущих значений k и индивидуальны для каждой вычисляемой i и используемой для вычисления j переменных [3]. Самым важным в данном моделировании являются коэффициенты АР-модели, ибо они показывают, насколько вычисляемая величина зависит от ряда предыдущих значений различных величин.

При анализе ЭЭГ АР-модель сводят к более узконаправленной модели, основанной на **причинности по Гренджеру (ПГ)**. Данная модель отличается тем, что АР-модель дополнена белым шумом. Белый шум – это остаточный сигнал, который остается после моделирования линейной зависимости всех сигналов, в ЭЭГ он проявляется за счет микса сигналов со всего мозга. Для вычисления АР коэффициентов в ПГ можно использовать фильтрацию Кальмана.

Кальмановская фильтрация

Метод Кальмановской фильтрации основывается на модели пространства-состояния, состоящей из [4]:

- уравнение состояния:

$$\tilde{A}_p(n+1) = \tilde{A}_p(n) + v(n);$$

- уравнение измерения:

$$y(n) = H_p(n)\tilde{A}_p(n) + e(n).$$

Уравнение состояния связывает состояние $\tilde{A}_p(n)$ МВАР параметров в момент времени n с оценками состояния или МВАР оценками в момент времени $n+1$, где $v(n)$ – процесс белого шума состояния и $H_p(n)$ является матрицей sr прошлых точек данных измерения; и $\tilde{A}_p(n)$ – Кальмановские коэффициенты АР, которые используются для расчета параметров модели времязависимой МВАР; данные коэффициенты – матрицы с искомыми АР-коэффициентами.

Т.к. при исследовании ЭЭГ проводится многократная запись данных, то для вычисления АР-коэффициентов используются уравнения общей линейной Кальмановской фильтрации (ОЛКФ) [3].

Частичная направленная согласованность (ЧНС) и направленная функция передачи (НФП)

ЧНС и НФП – методы анализа связности временных рядов (ЭЭГ), основанные на ПГ. Их конечным результатом является относительная величина, оценивающая связность (насколько сильно один временной ряд влияет на другой) двух временных рядов, в диапазоне от 0 до 1. Разница между ЧНС и НФП в том, что метод ЧНС оценивает величину сигнала между регионами А и Б (сигнал А→Б) относительно суммы всех исходящих из А сигналов, а метод НФП оценивает величину того же сигнала, но относительно суммы всех входящих в Б сигналов. Параметр связности является функцией момента времени и частоты (из преобразования Фурье) [5–7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе исследования были выработаны 3 модели визуализации ЧНС- и НФП-параметров для анализа связности. 1-я модель показывает параметр связности для всех пар регионов, но лишь в какой-то определенный момент времени. 2-я модель (рис.) показывает изменение параметра связности на протяжении всего эксперимента, при этом параметр связности усреднялся по частотным интервалам активности мозга. Недостаток такой визуализации в том, что в одном наборе графиков содержится лишь одна пара регионов и лишь одно из двух направлений сигнала между этими регионами. 3-я модель является визуализацией параметров

связности в частотно-временных координатах, где цветом показывалась величина связности. Ниже представлен пример 2-й модели.

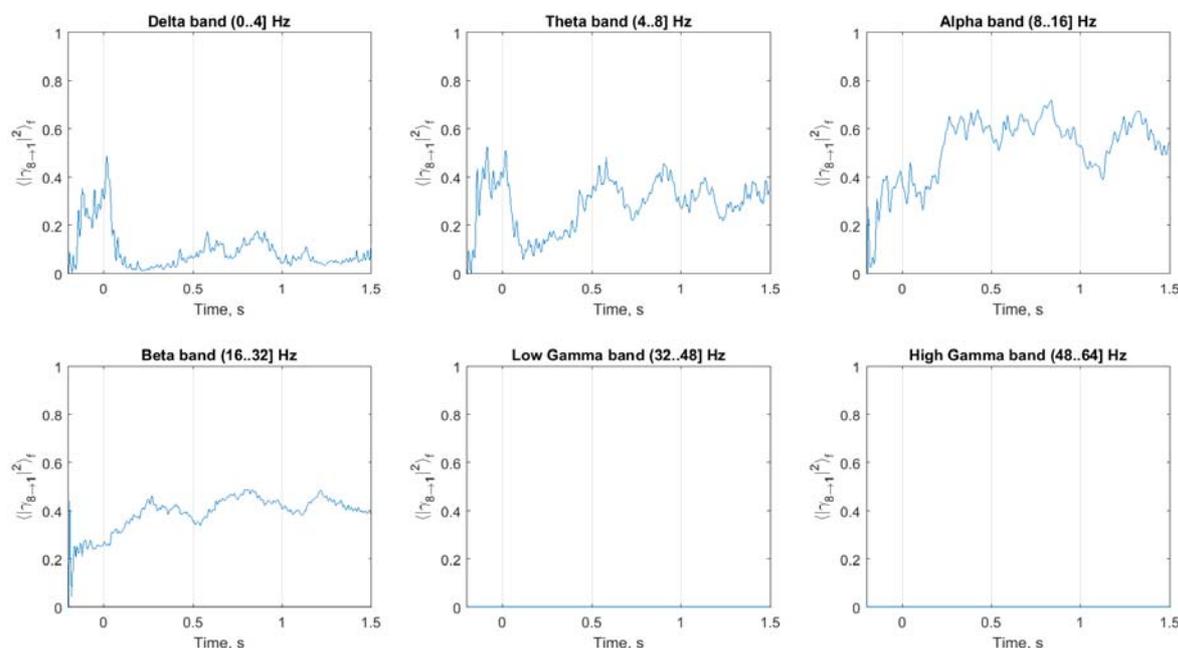


Рис. 1. НФП параметр при восприятии абстрактных слов между 1-м и 8-м регионами

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа носит исключительно научную ценность, т.к. в случае дальнейшего успеха можно будет анализировать трансфер сигнала для любой человеческой активности. В результате данной работы были разработаны новый подход к исследованию взаимозависимости регионов мозга и новый метод визуализации ЭЭГ.

Библиографические ссылки

1. *Brysbaert M., Stevens M., De Deyne S., Voorspoels W., Storms G.* Norms of age of acquisition and concreteness for 30,000 Dutch words // *ACTPSY*. 2014. Vol. 150. P. 80–84. DOI:10.1016/j.actpsy.2014.04.010.
2. *Cohen M. X.* Analyzing Neural Time Series Data. Theory and Practice. Cambridge – Massachusetts – London : The MIT Press, 2014.
3. *Milde T.* A new Kalman filter approach for the estimation of high-dimensional time-variant multivariate AR models and its application in analysis of laser-evoked brain potentials // *Neuroimage*. 2010. Vol. 50, № 3, P. 960–969. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2009.12.110.
4. *Ghumare E. G., Schrooten M., Vandenberghe R., Dupont P.* A Time-Varying Connectivity Analysis from Distributed EEG Sources: A Simulation Study // *Brain Topography*. 2018. P. 1–17. DOI: 10.1007/s10548-018-0621-3.
5. *Kamiński M., Ding M., Truccolo W. A., Bressler S. L.* Evaluating causal relations in neural systems: Granger causality, directed transfer function and statistical assessment

- of significance // Biological Cybernetics. 2001. Vol. 85, № 2. P. 145–157. DOI: 10.1007/s004220000235.
6. *Baccalá L. A., Sameshima K.* Partial directed coherence: a new concept in neural structure determination // Biol. Cybern. 2001. Vol. 84, № 6, P. 463–474. DOI: 10.1007/PL00007990.
7. *Melia U., Vallverdu M.* Methods in brain connectivity. Inference through multivariate time series analysis // Clinical Neurophysiology. 2015. Vol. 126, № 5. DOI: 10.1016/j.clinph.2014.08.015.

СПЕКТРОСКОПИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ГИБРИДНЫХ ПЛЕНОК ИЗ УГЛЕРОДНЫХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАНОТРУБОК

А. Н. Смехович

Белорусский государственный университет, г. Минск;

alex-staff@mail.ru;

науч. рук. – В. К. Ксенович, канд. физ.-мат. наук

Методом комбинационного рассеяния света (КРС) исследованы гибридные пленки из углеродных нанотрубок и неорганических нанотрубок дисульфида вольфрама. В спектрах КРС обнаружены и описаны основные колебательные моды, характеризующие гибридные пленки в области волновых чисел 0–3000 см⁻¹. По отношению интенсивностей D– и G–полос оценена дефектность исследуемых образцов.

Ключевые слова: гибридные пленки; углеродные нанотрубки; нанотрубки WS₂; спектроскопия комбинационного рассеяния света.

ВВЕДЕНИЕ

Из-за своих уникальных свойств углеродные нанотрубки (УНТ) являются перспективным материалом для микро- и наноэлектроники. Продемонстрирована возможность получения транзисторов, диодов [1] и сенсоров [2] на их основе. К тому же, нанотрубки можно применять в качестве подвижных элементов наноэлектромеханических систем (НЭМС) [1], а также в качестве защитных покрытий от СВЧ-излучения [3]. Кроме того, было показано, что нанотрубки можно получать из неорганических материалов, таких как WS₂ [4], MoS₂ [5], GaN [6] и многих других. В статье [7] исследовалась проводимость композитов на основе эпоксидной смолы и WS₂-нанотрубок (WS₂-НТ), смешанных под давлением. В отличие от углеродных нанотрубок, неорганические WS₂-НТ характеризуются более высокими значениями сопротивления. Таким образом, смешивая углеродные и неорганические нанотрубки, можно получать материалы, электрофизическими свойствами которых можно управлять, варьируя соотношение между органической и неорганической компонентами в них.