

роковещательными пакетами, организующими маршрутизацию, а контрольно-измерительная информация от объектов мониторинга передается к корневому узлу по протоколу HWMP в проактивном режиме. Такой алгоритм позволяет упростить процесс обмена командной информацией между корневым узлом и остальными узлами сети мониторинга.

Литература

1. Вишневецкий В.М., Лаконцев Д.В., Сафонов А.А., Шпилев С.А. Mesh-сети: в ожидании стандарта IEEE 802.11s // Электроника. № 3, 2008. – С. 98-106.
2. Вишневецкий В.М., Лаконцев Д.В., Сафонов А.А., Шпилев С.А. Маршрутизация в

широкополосных беспроводных mesh-сетях стандарта IEEE 802.11s // Электроника. № 6, 2008. – С. 64-69.

3. Осипов И.Е. Mesh-сети: технологии, приложения, оборудование // Технологии и средства связи. № 4, 2006. – С. 39-45
4. Biswas S., Morris R. Opportunistic Routing in Multi-Hop Wireless Networks, 2003 // http://pdos.csail.mit.edu/papers/roofnet:exor-sigcomm.05/roofnet_exor-sigcomm05.pdf
5. Roberta Wiggins. Myths and Realities of Wi-Fi Mesh Networking, 2006 // http://skypilot.trillian-tinc.com/pdf/myths_realities_wifi_mesh_nw.pdf

SIMPLIFIED ROUTING ALGORITHM IN WI-FI MESH NETWORKS MONITORING

Golubnichaya E.Y., Lichtzinder B.Y.

This article discusses an algorithm designed for Wi-Fi networks for monitoring parameters of distributed objects.

Keywords: *mesh-network technology, PREQ, MAC-address, starting address.*

Голубничая Екатерина Юрьевна, аспирант Кафедры мультисервисных сетей и информационной безопасности (МСИБ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-937-173-87-95. E-mail: ekaterina.golubn@mail.ru

Лихтциндер Борис Яковлевич, д.т.н., профессор Кафедры МСИБ ПГУТИ. Тел.8-927-260-96-00. E-mail: lixt@samtel.ru

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 612.843.21+51-76+519.254+616.8-009.836

СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФРАКТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЭЭГ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ В АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАЗНОЙ ВНЕШНЕЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

Антипов О.И., Захаров А.В., Пятин В.Ф.

В данной статье обсуждаются результаты практического применения различных фрактальных методов детерминированного хаоса применительно к анализу электроэнцефалограмм (ЭЭГ). Был произведен поиск метода для дифференцирования состояния уровня активности головного мозга при разной внешней освещенности. Из трех применяемых в работе методов: метода ближайших ложных соседей, нормированного размаха Херста и аппроксимационной энтропии – положительный результат был достигнут только с помощью аппроксимационной энтропии. Даны обоснования применения данных методов и обсуждены результаты.

Ключевые слова: фрактальный анализ, электроэнцефалография, аппроксимационная энтропия, по-

казатель Херста, R/S-анализ, модифицированный метод ближайших ложных соседей.

Введение

Исходная задача применения математических фрактальных методов для анализа ЭЭГ заключалась в обнаружении изменения активности коры головного мозга при разной освещенности сетчатки глаз человека. Обнаружение разницы между состояниями активности коры больших полушарий головного мозга при воздействии на сетчатку светом разной интенсивности необходимо для исследования механизмов воздействия естественной освещенности на мозговые меха-

низмы контроля циркадианных ритмов человека. Циркадианные ритмы контролируются рецепторами освещенности сетчатки глаза посредством супрахиазматических ядер гипоталамуса, а функция зрачкового рефлекса при участии меланопсинпродуцирующих ганглиозных клеток сетчатки состоит в регуляции светового потока. В случае положительного эффекта от применения фрактальных методов к обнаружению различия в активности головного мозга будет косвенно подтверждена гипотеза о недостаточности бытовой освещенности для полноценной регуляции циркадных ритмов, что может являться причиной целого ряда распространенных неврологических расстройств, таких как инсомния, парасомния, нарколепсия и т.д.

Постановка эксперимента

С целью идентификации различий в функциональной активности коры больших полушарий головного мозга при разной естественной освещенности был проведен следующий эксперимент. С помощью прибора «Нейрон-спектр/4ВКМ» (Россия) регистрировалась ЭЭГ. Electroды для снятия ЭЭГ были наложены по системе «10-20». В общем виде схема расположения электродов представлена на рис. 1. Группы электродов можно разделить на пары, условные названия которых представлены в таблице 1. Как видно из таблицы и рис. 1, пары электродов симметрично расположены относительно сагиттальной линии Fpz-Oz, Использование данной системы отведений должно позволить определить квантуемые механизмы мозга, которые активируются центральными циркадианными часами при участии фоточувствительных ганглиозных клеток сетчатки. В эксперименте снимались 10 серий ЭЭГ-сигналов при двух различных уровнях освещенности:

- при естественной освещенности внутри помещения, соответствующей норме согласно СНиП 23-05-95, но, как свидетельствуют данные ряда авторов [32-33], недостаточной по величине для активации циркадианных часов. Условно такая величина естественной освещенности была обозначена как недостаточная освещенность;

- при естественной освещенности, когда взгляд испытуемого был ориентирован на голубой безоблачный небосвод в околополуденное время, прямые солнечные лучи не освещали глаза добровольца.

В первом случае имитировалась рабочая обстановка, соответствующая нормативам охраны труда ГОСТ ИСО 8995-2002 для выполнения «задания со средними требованиями к условиям

зрительного восприятия», т.е. в пределах 300-500 лк. Во втором случае рассматривалось моделирование ситуации нахождения человека в условиях естественной освещенности, то есть не менее 3000 лк. Измерение освещенности проводилось с помощью прибора ТКА-ПКМ (02) (Россия), зарегистрированного в Реестре средств измерений 24248-09. Для объективности эксперимента серии со световой стимуляцией чередовались с сериями без таковой. Длительность каждой серии составляла не менее 5 мин., для того чтобы можно было в каждой серии выбрать эпоху длительностью 5 мин., которая была бы свободна от очевидных двигательных артефактов. Каждая пятиминутная серия, в свою очередь, разбивалась на 10 тридцатисекундных эпох, для каждой из которой были вычислены значения фрактальных величин в соответствии с применяемыми методами.

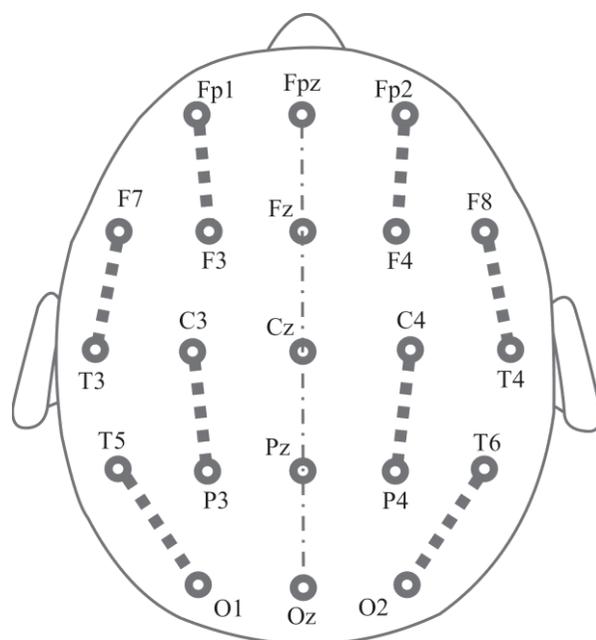


Рис. 1. Биполярная схема расположения электродов для регистрации ЭЭГ (пунктирными линиями показана биполярные пары отведений электродов, а штрихпунктирной линией представлена сагиттальная линия головы)

Обзор применяемых методов

Применение методов моделирования зарекомендовало себя как научно обоснованный и высокоинформативный метод суждения о различных нелинейных процессах (в том числе заболеваний) [14-17; 21], на которые оказывают влияние множество факторов [18-19]. Являясь универсальными методами для описания различных биологических процессов, математическое

моделирование нашло применение не только при описании клинических состояний, но и при изучении физиологических процессов на животных моделях [23-24; 28; 30-31], в изучении иммунных ответов и протекании физиологических иммунных реакций [20; 22; 25; 29].

Всестороннее изучение патологического процесса в конечном счете позволяет подходить к решению задач терапии, реабилитации и профилактики [20; 26]. Наибольшими возможностями в решении нелинейных задач в описании биологических процессов обладают фрактальные методы. Поскольку человеческий мозг является классической синергетической неравновесной динамической системой [27], то соответственно применяемые методы должны быть фрактальными. Так как исследуемые временные ряды являются относительно короткими [9], то и применяемые методы должны быть адаптированы к решаемой задаче соответствующим образом. В данной работе применялись следующие методы: модифицированный метод ближайших ложных соседей (БЛС), метод нормированного размаха Херста (R/S анализ) и метод аппроксимационной энтропии.

Таблица 1. Условные обозначения пар электродов ЭЭГ

Области коры больших полушарий	Локализация и обозначение пар электродов	
	Левое полушарие	Правое полушарие
Лобная	Fp1-F3	Fp2-F4
Височная	F7-T3	F8-T4
Теменная	C3-P3	C4-P4
Затылочная	T5-O1	T6-O2

Модификация метода БЛС заключалась в том, что в отличие от стандартного метода рассчитывалось количество ближайших ложных соседей к длине исследуемого ряда P/N при переходе из двумерного в трехмерное псевдофазовое пространство. Данная методика хорошо зарекомендовала себя в авторских работах при решении различных задач не только в медицине [4; 8; 12], но и в экономике [2; 6; 9], и в технике [10-11; 13].

Поскольку существует связь между показателем Херста и показателем функции огибающей спектр мощности исследуемого сигнала, то метод нормированного размаха применялся по двум разным алгоритмам. Сначала он применял-

ся для всего ряда целиком (полученная величина обозначена как H), а потом вычислялась величина $\langle H \rangle$, полученная путем усреднения значения показателей Херста отдельных участков равномерно разделенного исходного ряда. Это связано с результатами Анищенко [1], на основании которых он сделал вывод о лучшем приближении усредненных вышеприведенным способом спектрограмм к незашумленной исходной спектрограмме применительно к нелинейным неравновесным динамическим системам. Подобная методика хорошо зарекомендовала себя в авторских работах [7].

Последним из применяемых фрактальных методов являлся метод расчета аппроксимационной энтропии, который ранее авторами успешно применялся в работах [3-5], где также производился анализ ЭЭГ-сигналов. Таким образом, для каждого пятиминутного опыта, характеризуемого 10 участками длиной в стандартную эпоху в 30 сек., получается 10 значений каждой фрактальной величины. Результаты представлены на рис. 2 в виде диаграмм, известных в статистике как ящики с усами (от англ. box-and-whiskers). Ящик с усами – компактное представление распределения дискретной случайной величины. Усы ящика – предельные значения, низ и верх ящика – нижняя и верхняя квартили (первая и третья соответственно), а линия внутри ящика – медиана.

Этот график позволяет визуально выделить статистически значимые результаты, входящие внутрь квартильного размаха, а положение медианы относительно квартилей позволяет оценить смещение центра распределения. Для визуального удобства опыты без световой стимуляции окрашены в серый цвет и расположены в левой половине диаграммы, а результаты опыта со световой стимуляцией расположены в правой половине диаграммы и окрашены в светло-серый цвет.

Обсуждение результатов

Поскольку статья посвящена фрактальным методам, то физиологическая и неврологическая стороны вопроса здесь освещены не будут. Применение метода БЛС не дало ожидаемых результатов. Возможно, это связано с тем, что не было правильно подобрано значение порога [9]. Также, возможно, методика усреднения для данного метода не является оптимальной. По применению метода R/S-размаха получены два вывода: результаты усредненных показателей отличаются от показателей целого ряда

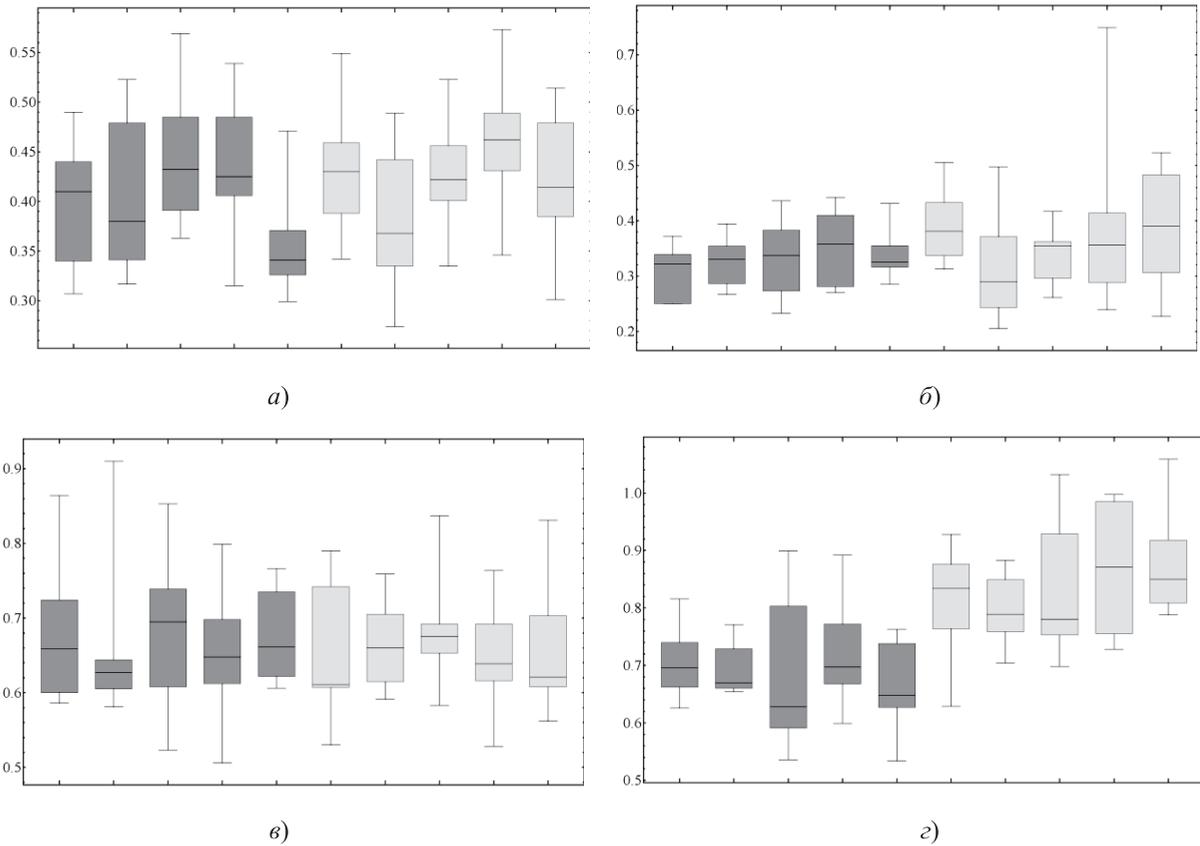


Рис. 2. Распределения фрактальных величин для канала F7-T3 (в виде ящиков с усами), полученных с помощью следующих фрактальных методов: *а)* метода ложных ближайших соседей, *б)* показателя Херста, *в)* усредненного за серию значения показателя Херста, *г)* аппроксимационной энтропии

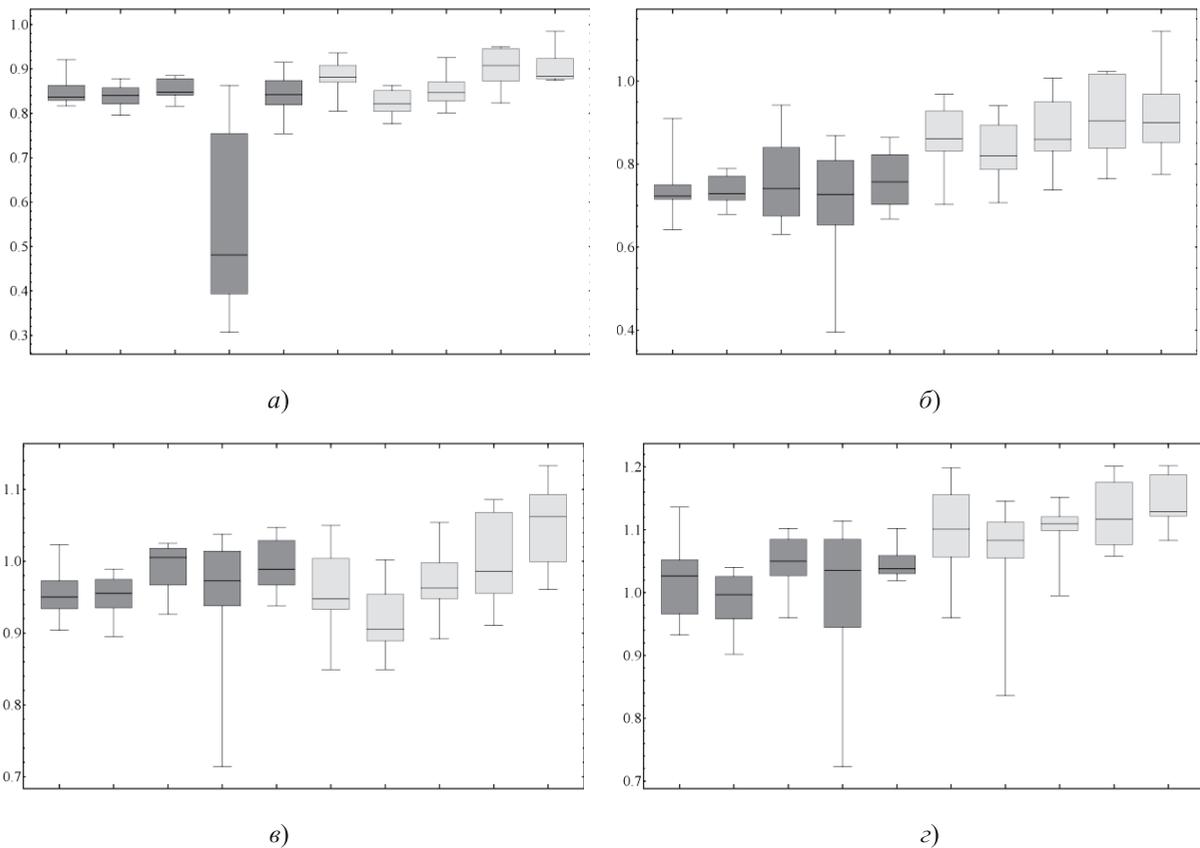


Рис. 3. Графики распределения аппроксимационной энтропии для каналов правого полушария: *а)* Fp2-F4, *б)* F8-T4, *в)* C4-P4, *г)* T6-O2

Таблица 2. Усредненные значения фрактальных величин по всем сериям опытов

Фрактальная величина	<P/N>		H		<H>		<ApEn>	
	нет	да	нет	да	нет	да	нет	да
Достаточная освещенность	нет	да	нет	да	нет	да	нет	да
Значение для канала C4-P4	0.48	0.48	0.31	0.32	0.61	0.60	0.97	0.98
Значение для канала T6-O2	0.50	0.52	0.31	0.35	0.62	0.61	1.02	1.11
Значение для канала F8-T4	0.42	0.45	0.35	0.36	0.68	0.66	0.74	0.88
Значение для канала Fp2-F4	0.34	0.42	0.34	0.32	0.62	0.66	0.79	0.88
Значение для канала C3-P3	0.47	0.50	0.32	0.30	0.62	0.60	0.95	1.02
Значение для канала T5-O1	0.50	0.51	0.31	0.35	0.60	0.60	1.04	1.10
Значение для канала F7-T3	0.41	0.43	0.33	0.36	0.67	0.66	0.69	0.84
Значение для канала Fp1-F3	0.46	0.46	0.32	0.33	0.67	0.66	0.61	0.72

не только качественно, но и количественно. То есть значение показателя Херста для всего ряда существенно отличается от среднего значения показателей его отдельных частей. Это говорит о локальности масштабной инвариантности ЭЭГ-сигналов, что, возможно, связано с ограничениями в частотном диапазоне работы головного мозга. Точность фиксирования сверхслабых сигналов, которыми являются ЭЭГ, ограничиваемая минимальным уровнем дискретизации, не позволяет различить фрактальные свойства на малых временных масштабах.

Главный вывод заключается в том, что метод аппроксимационной энтропии позволил получить хорошо дифференцируемые результаты с хорошей статистической достоверностью, как показано на рис. 2 г. Также следует отметить, что подобный результат достигается только для отведений электродов, расположенных в проекции височных и затылочных областей коры больших полушарий головного мозга. Для иллюстрации данного вывода на рис. 3 представлены результаты применения метода аппроксимационной энтропии для различных пар отведений другого полушария. Общая картина применения методов фрактального анализа представлена в таблице 2 в виде упорядоченных усредненных значений для всех серий экспериментов отдельно для каждого условия эксперимента: недостаточная освещенность и естественная освещенность.

Заключение

Таким образом, в соответствии с задачей эксперимента – применение математических фрактальных методов для анализа ЭЭГ при

интенсивной освещенности сетчатки глаз человека – было обнаружено изменение активности коры больших полушарий головного мозга в височных и затылочных областях симметрично относительно сагиттальной линии. Важной гипотезой, полученной в ходе проведенного анализа, является предположение, что на результаты применения фрактальных методик сильное влияние оказывают двигательные артефакты, лежащие в дельта-диапазонах ЭЭГ. Эта гипотеза, возможно, позволит повысить достоверность полученных результатов путем полосовой фильтрации в указанных диапазонах.

Литература

1. Анищенко В.С. Сложные колебания в простых системах. М. : Наука, 1990. – 312 с.
2. Антипов О.И., Добрянин А.В., Неганова Е.В., Неганов В.А. Фрактальный анализ динамики цен на нефть // Экономические науки. № 66, 2010. – С. 260-270.
3. Антипов О.И., Захаров А.В., Неганов В.А. Особенности применения фрактальных мер детерминированного хаоса к автоматизированному распознаванию стадий сна при полисомнографии // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. Т.15. № 3, 2012. – С. 101-109.
4. Антипов О.И., Захаров А.В., Неганов В.А. Сравнение скорости и точности фрактальных методов детерминированного хаоса применительно к распознаванию стадий сна // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАН. № 2-1, 2013. – С. 9-14.

5. Антипов О.И., Захаров А.В., Повереннова И.Е., Неганов В.А., Ерофеев А.Е. Возможности различных методов автоматического распознавания стадий сна // Саратовский научно-медицинский журнал. Т. 8. № 2, 2012. – С. 374-379.
6. Антипов О.И., Ивахник В.В., Неганова Е.В., Неганов В.А. Фрактальный анализ динамики цен на драгоценные металлы // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. Т. 14. № 2, 2011. – С. 110-116.
7. Антипов О.И., Нагорная М.Ю. Показатель Херста биоэлектрических сигналов // ИКТ. Т. 9. № 1, 2011. – С. 75-77.
8. Антипов О.И., Нагорная М.Ю. Фрактальный анализ электрогастроэнтерографического сигнала // Биомедицинская радиоэлектроника. № 10, 2010. – С. 40-44.
9. Антипов О.И., Неганов В.А. Анализ и прогнозирование поведения временных рядов: бифуркации, катастрофы, синергетика, фракталы и нейронные сети. М: Радиотехника, 2011. – 350 с.
10. Антипов О.И., Неганов В.А. Детерминированный хаос в импульсном стабилизаторе напряжения повышающего типа // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. Т. 7. № 2, 2004. – С. 69.
11. Антипов О.И., Неганов В.А. Исследование динамического хаоса в импульсном стабилизаторе напряжения инвертирующего типа с учетом влияния активных потерь с помощью мер фрактального исчисления // Нелинейный мир. Т. 6. № 7, 2008. – С. 364-377.
12. Устройство для выявления стадий сна при полисомнографии / Антипов О.И., Неганов В.А., Захаров А.В. Патент РФ на полезную модель RUS 122271 от 11.01.2012.
13. Антипов О.И., Неганов В.А. Прогнозирование и фрактальный анализ хаотических процессов дискретно-нелинейных систем с помощью нейронных сетей // Доклады Академии наук. Т.436. № 1, 2011. – С. 34-37.
14. Захаров А.В., Долгих Г.Т., Долгих Т.А. Клинико-инструментальные корреляты клинически изолированного синдрома // Медицинский альманах. № 1, 2011. – С. 114-116.
15. Захаров А.В., Кузнецова Н.И., Хивинцева Е.В., Власов Я.В. Особенности реабилитации при рассеянном склерозе // Неврологический вестник. Журнал им. В.М. Бехтерева. Т. XLII. № 1, 2010. – С. 110-114.
16. Захаров А.В., Повереннова И.Е., Гиндуллина Е.А., Кузнецова Н.И. Болевые феномены при клинически изолированном синдроме // Российский журнал боли. № 1, 2012. – С. 27-28.
17. Захаров А.В., Повереннова И.Е., Кузнецова Н.И. Утренние головные боли: причины возникновения // Российский журнал боли. № 1, 2012. – С. 40-41.
18. Захаров А.В., Повереннова И.Е., Хивинцева Е.В., Грешнова И.В., Гендуллина Е.А. Анализ вероятности перехода монофокального клинически изолированного синдрома в клинически достоверный рассеянный склероз // Саратовский научно-медицинский журнал. Т.8. № 2, 2012. – С. 432-435.
19. Захаров А.В., Хивинцева Е.В., Повереннова И.Е., Гиндуллина Е.А., Власов Я.В., Синок Е.В. Оценка рисков трансформации монофокального клинически изолированного синдрома в клинически достоверный рассеянный склероз // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Т. 113. № 2-2, 2013. – С. 28-31.
20. Лавров О.В., Широлапов И.В., Пятин В.Ф. Острый экзаменационный стресс: иммуносупрессия или иммуностимуляция? // Медицинская иммунология. Т. 13. № 4-5, 2011. – С. 470.
21. Повереннова И., Власов Я.В., Захаров А.В., Кузнецова Н.И., Романова Т.В., Кацнельсон В.М., Платонова А.С., Устинова Е.В. Некоторые проблемы реабилитации инвалидов, больных рассеянным склерозом, в учреждениях социальной защиты // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Т.109. № 2, 2009. – С. 129.
22. Пятин В.Ф., Мирошниченко И.В., Кульчицкий В.А. Участие NO-ергического механизма в регуляции ритмогенеза дыхательного центра бульбоспинальных препаратов новорожденных крыс // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. Т. 132. № 8, 2001. – С. 129.
23. Пятин В.Ф., Никитин О.Л., Татарников В.С. Изменение активности диафрагмального нерва во время стимуляции ростральных отделов вентральной поверхности продолговатого мозга крыс // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. Т.123. № 6, 1997. – С. 617.
24. Пятин В.Ф., Никитин О.Л., Татарников В.С. Эффект выключения субретрофациальной области на центральную инспираторную

- активность и реакцию дыхания на гиперканию // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. Т.123. № 3, 1997. – С. 491.
25. Пятин В.Ф., Татарников В.С. Оксид азота модулирует центральный хемочувствительный драйв при участии ростральных вентромедуллярных нейронных структур у взрослых крыс // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. Т.135. № 5, 2003. – С. 489.
26. Пятин В.Ф., Широлапов И.В. Физическая нагрузка ускорением – расширение реабилитационных возможностей восстановительной медицины // Вестник восстановительной медицины. № 1, 2009. – С. 24.
27. Хакен Г. Принципы работы головного мозга: Синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивности деятельности. М.: ПЕР СЭ, 2001. – 351 с.
28. Mirosnichenko I.V., Piatin V.F., Alekseeva A.S., Tiurin N.L. Spectral characteristics of electrical activity of the respiratory center in brain processes in fetus and newborn rats in vitro // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. Т. 88. № 2, 2002. – С. 248-256.
29. Pyatin V.F., Tatarnikov V.S. Nitric oxide in the a5 region modulates reaction of the respiratory center and blood pressure to hypoxia in rats // Bulletin of Experimental Biology and Medicine. T.139. № 2, 2005. – С. 159-162.
30. Pyatin V.F., Tatarnikov V.S., Glazkova E.N. Activity of neurons of the cerebral a5 zone of rat induced by adequate stimulation of muscle afferents: on the control of arterial pressure and respiration during muscle activity // Neurophysiology. T.39. № 6, 2007. – С. 382-390.
31. Tatarnikov V.S., Nikitin O.L., Pyatin V.F. The involvement of rostral ventromedullary neuronal structures in regulating the mechanism of formation of the respiratory rhythm in rats // Neuroscience and Behavioral Physiology. T.29. № 2, 1999. – С. 151-155.
32. Brainard G.C., Hanifin J.P., Greeson J.M. e.a. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor // Journal of Neuroscience. August 15, Vol 21(16), 2001. – P. 6405-6412.
33. Thapan K., Arendt J., Skene D.J. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans // Journal of Physiology. Vol 535.1, 2001. – P. 261-267.

OPPORTUNITIES COMPARISON OF FRACTAL EEG-ANALIZING METHODS APPLICABLE TO DETECT CHANGES IN HUMAN BRAIN ACTIVITY AT DIFFERENT EXTERNAL LIGHTING

Antipov O.I., Zakharov A.V., Pyatin V.F.

This article discusses the results of practical application various methods of fractal deterministic chaos applied to the analysis of electroencephalograms (EEG). Was searched method for the differentiation of the state of the level of activity in the brain at different ambient light. The three methods used in the work: the method of false nearest neighbors, rescaled range Hurst and approximate entropy, a positive result was achieved only with the help of the approximation entropy. Given to justify the use of these methods and discuss the results.

***Keywords:** fractal analysis, electroencephalography, approximation entropy, Hurst exponent, R/S-analysis, a modified method of false nearest neighbors.*

Антипов Олег Игоревич, д.ф.-м.н., профессор Кафедры основ конструирования и технологий радиотехнических систем Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. 8-917-165-02-75. E-mail: oleg1307@mail.ru

Захаров Александр Владимирович, к.м.н., доцент Кафедры неврологии и нейрохирургии Самарского государственного медицинского университета (СамГМУ). Тел. (8-917-162-03-01. E-mail: zakharov1977@mail.ru

Пятин Василий Федорович, д.м.н., профессор, заведующий Кафедрой нормальной физиологии СамГМУ. Тел. (8-917-948-44-33. E-mail: pyatin_vf@list.ru