

УДК 004.42+004.92

ПРИМЕРЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ

П.Ю.БРАНЦЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. Медицинская и технической диагностика, как набор правил, методов, алгоритмов, которые позволяют принять решение о состоянии наблюдаемого объекта или субъекта имеют много общего. Создание новых и совершенствование уже существующих методов оценки состояния человека является важным направлением медицинских исследований. Несомненный научный интерес представляет исследование нейронной сети головного мозга человека с использованием электроэнцефалограмм. Представлены некоторые результаты цифровой обработки временных реализаций электроэнцефалограмм методами спектрального анализа, цифровой фильтрации, выделения огибающей несущей гармоники, преобразования Гильберта-Хуанга. Полученные данные позволяют сформулировать гипотезу о возможности выявлять информативно-значимые признаки функционирования нейронной сети головного мозга человека на основе цифровой обработки электроэнцефалограмм и применять их при решении задач оценки изменения параметров и характеристик электроэнцефалограмм: в процессе накопления знаний или запоминания информации в нейронной сети мозга человека; изменения состояния человеческих органов даже на начальных стадиях; определения исходных предрасположенностей человека к конкретным видам деятельности и поведению; создания интеллектуальных систем анализа исходных данных и принятия решений с элементами самообучения и развития.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, цифровая обработка, амплитудный спектр, цифровая фильтрация, преобразование, гистограмма, модовая декомпозиция.

EXAMPLES OF DIGITAL PROCESSING OF ELECTROENCEPHALOGRAMS

P.J. BRANCEVICH

Belorussian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Medical and technical diagnostics, as a set of rules, methods, algorithms that allow you to make a decision about the state of the observed object or subject, have much in common. The creation of new and improvement of existing methods for assessing the human condition is an important area of medical research. The study of the neural network of the human brain using electroencephalograms is of undoubted scientific interest. The results of digital processing of temporary realizations of electroencephalograms by the methods of spectral analysis, digital filtering, extracting the envelope of the carrier harmonic, Hilbert-Huang transformation are presented. The data obtained make it possible to formulate a hypothesis about the possibility of identifying informative and significant signs of the functioning of the human brain neural network based on digital processing of electroencephalograms and applying them in solving problems of assessing changes in the parameters and characteristics of electroencephalograms: in the process of accumulating knowledge or storing information in the neural network of the human brain; changes in the state of human organs, even at the initial stages; determining the initial predispositions of a person to specific activities and behavior; creation of intellectualized systems for analyzing initial data and making decisions with elements of self-learning and development.

Keywords: electroencephalogram, digital processing, amplitude spectrum, digital filtering, transformation, histogram, mode decomposition.

Введение

В производственных процессах значительную часть от эксплуатационных затрат составляют расходы, направляемые на обеспечение работоспособности производственного

оборудования. Снижение затрат на его эксплуатацию можно достичь путем внедрения современных систем технического обслуживания, которые базируются на использовании технологий мониторинга, оценки состояния, диагностики, прогнозирования развития дефектов, и по сути являются интеллектуальными системами [1].

Для контроля состояние производственного оборудования целесообразно выбирать те параметры и характеристики, которые достаточно хорошо отражают функциональное состояние объектов и не требуют слишком больших затрат на их определение [1,2]. На основе анализа состояния группы однотипных механизмов при их функционировании на различных режимах, в различном техническом состоянии и на протяжении длительного времени формулируются диагностические признаки для локализации мест и типов возникающих дефектов. Это создает условия для построения автоматизированных интеллектуальных систем оценки технического состояния и диагностики [3].

Медицинская диагностика, как набор правил, методов и решений, которые позволяют прийти к заключению о наличии или вероятности наличия у человека того или иного заболевания, имеет много общего с технической диагностикой [4]. Открытие новых и совершенствование уже существующих методов оценки состояния человека является важным направлением медицинских исследований. В связи с этим применение разнообразных способов обработки параметров и характеристик человеческого организма и формализация систем принятия решений на основе получаемых данных являются весьма актуальными, причем все более доступными для создания, по крайней мере для многих частных случаев, за счет растущей вычислительной и информационной мощности применяемых технических средств.

Модель живого организма, принимающего решения

В настоящее время возникает необходимость осуществлять мониторинг состояния не только технических объектов, но и живых организмов, в том числе и человека.

Предположим гипотезу, что человек – это материальная органическая сущность, состоящая из:

- набора разнообразных первичных преобразователей информации (зрение, слух, обоняние, вкус, рецепторы оценки состояния окружающей среды и собственных органов, нервные окончания и т.д.), преобразующих состояние окружающей среды и самого организма в электрические сигналы, передаваемые в нейронную сеть головного мозга человека;

- органов обеспечения жизнедеятельности, выживания, питания, реакций, работоспособности, воспроизведения себе подобных (сердце, желудок, печень, селезёнка и т.д.);

- исполнительных механизмов (руки, ноги, пальцы, голосовые связки, зубы, органы лица и т.п.);

- управляющего устройства – головного мозга, который принимает решения на основе имеющихся знаний и принимаемых электрических сигналов от первичных преобразователей, и формирует управляющие сигналы, передаваемые в исполнительные механизмы.

Как и любая другая, органическая человеческая материя подвержена износу и старению, что, в конце концов, приводит к прекращению её деятельности – смерти человека.

В результате научных исследований выяснено, что основным функциональным элементом мозга является то, что названо нейроном [5]. Однако вопрос взаимодействия нейронов головного мозга остается проблемным. На основе эмпирического и теоретического опыта можно сделать предположение, что общее устройство головного мозга можно представить в виде ядра и окружающей его оболочки. Состояние ядра даётся человеку от рождения. Оно определяет способности и возможности человека и, скорее всего, не изменяется или подвержено минимальным изменениям. Возможно допущение, что ядро мозга также может претерпеть достаточно серьёзные изменения под воздействием сильных внешних возмущений, например, радиационного излучения, отравления организма химическими веществами, введением в организм человека веществ, оказывающих влияние на работу биологических элементов организма. Деятельность ядра головного мозга определяет наши способности и осуществляет верховное управление.

Вторая часть мозга – это самообучаемая нейронная сеть, которая имеет возможность реконфигурироваться, получать, накапливать информацию и производить настройку обрабатывающих функций и коэффициентов передачи для сигналов, поступающих через синапсы в нейрон, формируя, тем самым, для данного момента времени систему принятия решений, сущность которых зависит от окружающего пространства и состояния организма, информацию о которых передают в нейронную сеть первичные преобразователи информации. Все действия и ощущения, которые получает и воспроизводит человек есть сущность и отражение решений, принимаемых нейронной сетью головного мозга. Самообучение нейронной сети производится эмпирически, или под целенаправленным воздействием, в том числе и по желанию нейронной сети, т.е. принятых ею решений на проведение определённых действий по получению новой информации.

Если следовать данной модели, то можно аргументировать вывод, что поведение человека обуславливается первоначальной настройкой нейронной сети головного мозга, и последующей реконфигурацией самообучаемой, многоуровневой, объёмной нейронной сети его головного мозга, происходящей по мере получения новой или переработки имеющейся информации.

Работа мозга сопровождается изменением электромагнитного поля, которое можно зафиксировать специальными первичными преобразователями и преобразовать в виде изменяющихся параметров тока или напряжения, что и происходит, когда снимают электроэнцефалограмму. Электрические параметры работа мозга для каждого выполняемого действия свои и они имеют свойство повторяться с допустимым разбросом для каждого действия. Уже достаточно хорошо отработаны вопросы мозгового управления протезами, даже есть разработки, когда человек мысленно управляет движением роботизированного объекта [6].

Исследования работы мозга собак, показали, что в их мозгу параллельно решаются несколько (5-6) задач [7,8]. Сам мозг не очень быстродействующий, но он моментально переключает приоритет на решение самой важной в данный момент для него задачи. Простой пример. Человек может заниматься любой деятельностью, но, если к его руке незаметно прикоснутся раскалённым предметом, он моментально отдернет руку, потому что рецепторы и нервы, отвечающие за измерение температуры руки, обнаружат её недопустимый перегрев, передадут эту информацию в мозг, и нейронная сеть головного мозга примет решение, что руке угрожает разрушение, нужно изменить положение руки и отдаст указание на исполнение данного действия соответствующим мышцам.

Таким образом, разработка систем и средств получения информации о состоянии человека, нейронной сети его головного мозга, об их изменении во времени и под внешним воздействием, является весьма актуальной и позволит решать многие сложные задачи. А построение систем принятия решений, моделирующих отдельные функциональные элементы мозга живых существ, позволит придать системам искусственного интеллекта новые возможности.

Примеры цифровой обработки электроэнцефалограмм

Электроэнцефалография – метод исследования головного мозга с целью выявления очагов повышенной судорожной готовности его коры, что характерно для: эпилепсии; опухолей; состояний после перенесенного инсульта; структурных и метаболических энцефалопатий; расстройств сна и других заболеваний. Электроэнцефалография измеряет колебания напряжения в результате ионного тока в нейронах головного мозга. Электроэнцефалограмма (ЭЭГ) является графическим изображением спонтанной электрической активности мозга в течение определенного периода времени, записанной с нескольких электродов на мозге или поверхности скальпа. Стандартной системой размещения электродов на поверхности головы, рекомендованной Международной федерацией электроэнцефалографии и клинической нейрофизиологии является система «10–20%» [9].

Результатом ЭЭГ являются цифровые сигналы, к которым исследуют с помощью методов цифровой обработки сигналов (ЦОС). Наиболее распространен спектральный метод исследования сигналов ЭЭГ, в ходе которого анализируется мощность сигнала в частотных

полосах, называемых: альфа (8-13 Гц); бета (13-35 Гц); гамма (35-70 Гц); дельта (0.3-4 Гц); тэта (4-8 Гц) [10].

При этом, в большинстве случаев вычисление амплитудного спектра производится на 1024-х или меньшем количестве дискретных точек [11], что приводит к достаточно грубому частотному разрешению. Однако, в настоящее время для исследования электроэнцефалограмм в режиме реального времени можно применить и другие способы обработки для выявления новых параметров и информативно-значимых признаков. Это цифровая фильтрация, вейвлет обработка, преобразование Гильберта-Хуанга, гистограммы распределения, разложение сигнала на детерминированные и шумоподобные компоненты, построение временных трендов и их обработка (рис.1) [12].

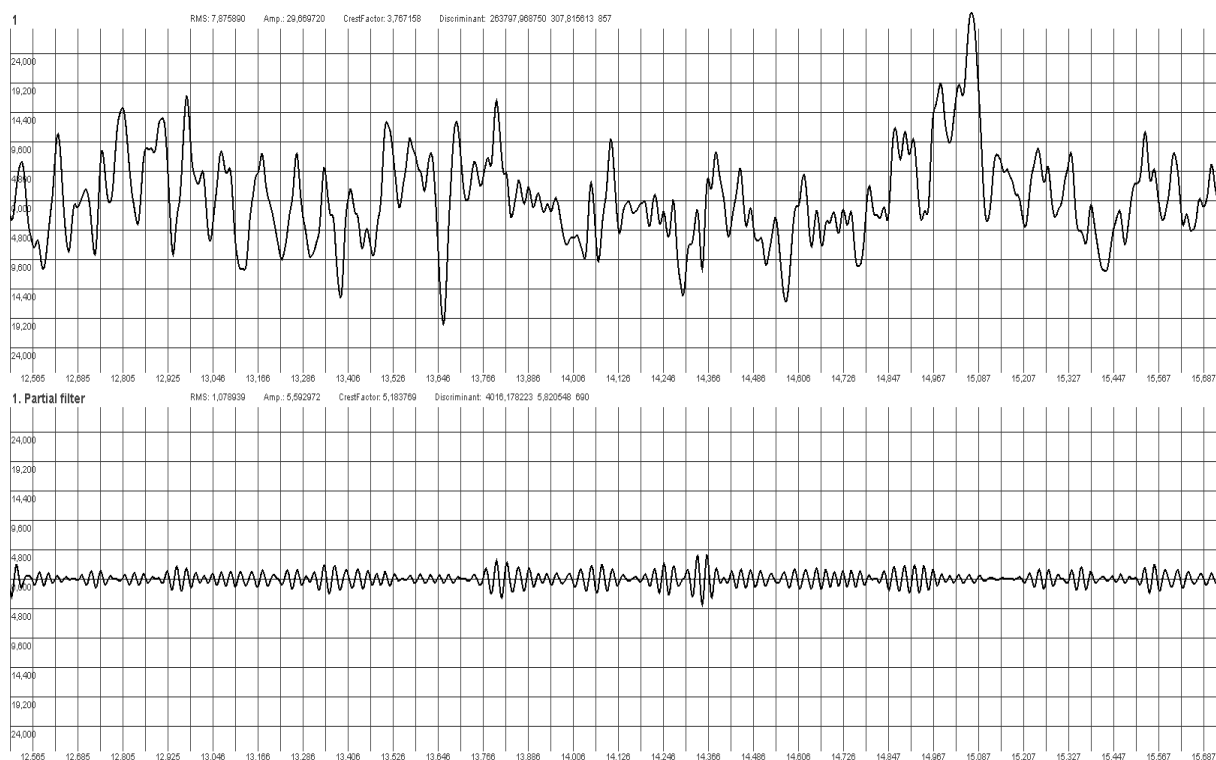


Рис. 1. Временные реализации электроэнцефалограммы в частотных полосах 0-250 Гц и 30-50 Гц.
Ось абсцисс – время, с; ось ординат – напряжение, мкВ

Спектральный анализ ряда ЭЭГ показал, что при разном разрешении амплитудные спектры электроэнцефалограмм имеют разную структуру по оси частот. Это значит, что в анализируемых сигналах отсутствуют частотные составляющие с постоянной, или близкой к постоянной, амплитудой. Если произвести выделение составляющих электроэнцефалограмм в более узких частотных полосах, то можно заметить довольно интересные особенности, выделения из ЭЭГ гармоник определённой частоты с изменяющейся амплитудой. Функция управления амплитудой гармоник называется огибающей. Для определения информативных параметров этой функции сначала выделяется сама огибающая, путем применяя преобразования Гильберта, реализуемого спектральным способом, а затем производится обработка огибающей и вычисляются ее параметры и характеристики [12]. Представляется, что именно параметры и характеристики огибающих отдельных гармоник электроэнцефалограмм могут быть наиболее значимыми информативными признаками, отражающими состояние информации, поступающей в нейронную сеть головного мозга от различных источников, или функциональность самой нейронной сети.

Достаточно интересным представляется исследование электроэнцефалограмм путем их разложения на эмпирические моды с помощью преобразования Гильберта-Хуанга [13]. Эксперименты по модовой декомпозиции ЭЭГ показали, что отдельные моды чувствительны к изменениям временной реализации исследуемой электроэнцефалограммы. Следовательно,

данный способ исследования электроэнцефалограмм также представляется весьма перспективным для выявления их информативно-значимых особенностей.

Заключение

Исследование нейронной сети головного мозга человека с использованием электроэнцефалограмм представляет несомненный научный интерес. Представленные результаты позволяют сделать гипотетическое предположение о возможности выявлять информативно-значимые признаки функционирования нейронной сети головного мозга человека на основе параметров и характеристик огибающей сигнала в узких частотных полосах электроэнцефалограммы или эмпирических мод разложения Гильберта-Хуанга. Большой интерес представляют задачи оценки изменения параметров и характеристик электроэнцефалограмм: при проведении электросудорожной терапии; в процессе накопления знаний или запоминания информации в нейронной сети мозга человека; изменения состояния человеческих органов даже на начальных стадиях (пред-диагностика); определения исходных предрасположенностей человека к конкретным видам деятельности и поведению; создания интеллектуальных систем анализа исходных данных и принятия решений с элементами самообучения и развития. Решение подобных задач может потребовать создания более чувствительных систем получения электроэнцефалограмм и первичных преобразователей оценки объемного электромагнитного поля нейронной сети мозга человека.

Список литературы

1. *Неразрушающий контроль: справочник. Том 7. Книга 2. Вибродиагностика.* Ф. Я. Балицкий и др. Москва: Машиностроение; 2005.
2. Bently D. E., Hatch C. N., Grissom V. *Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics.* Canada: Bently pressurized bearing company; 2002.
3. Бранцевич П. Ю. *Оценка технического состояния механизмов с вращательным движением на основе анализа вибрационных характеристик пусков и выбегов.* Минск: Четыре четверти; 2021.
4. Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А.Ю. *Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации.* СПб.: Изд. центр СПбГМТУ; 2000.
5. Осовский С. *Нейронные сети для обработки информации.* Пер. с польского И. Д. Рудинского. Москва: Финансы и статистика; 2002.
6. Павлова Л. П. *Доминанты деятельного мозга. Системный психофизиологический подход к анализу ЭЭГ.* СПб.: ИНФОРМ-НАВИГАТОР; 2017.
7. Пупков К.А., Вальцев В.Б. Процессы регуляции и управления в мозге и искусственных интеллектуальных системах. *Интеллектуальные системы: Труды четвертого международного симпозиума.* Москва: РУСАКИ; 2000:19-20.
8. Степанов М.Ф., Алпатов М.А., Бубнов Р.В. МИСС – Система моделирования интеллектуальных самоорганизующихся систем автоматического управления. *Интеллектуальные системы: Труды четвертого международного симпозиума.* Москва: РУСАКИ; 2000:21-22.
9. Beniczky S., Schomer D. L. Electroencephalography: basic biophysical and technological aspects important for clinical applications. *Epileptic Disorders*, Volume 22, issue 6; December 2020.
10. Сидоренко А.В., Солодухо Н.А. Нелинейный анализ электроэнцефалограмм оператора при действии электромагнитного шумового излучения. *Доклады БГУИР.* 2017; 6(108):64-75.
11. Кулаичев А.П. *Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика.* Москва: ИНФРА-М; 2018.
12. Бранцевич П.Ю. *Цифровая обработка вибрационных сигналов.* Минск: Бестпринт; 2022.
13. Huang N. E. Shen Z., Long S. R., Wu M. C., Shih H. H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C. C., and Liu H. H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of R. Soc. London, Ser. A*; 1998:903-995.