

УДК 615.47, 616-71, 004. 383.3

**ПОЛУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ
В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ¹****Д.В. Толкович^a, Е.С. Андрианова^a**

^a Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, PYBY@inbox.ru

Рассматриваются проблемы получения спектров электрофизиологических сигналов, зависимости результата диагностики от зашумленности данных и квалификации эксперта. Разработан модуль оценки амплитудно-частотных спектров биосигналов в реальном времени. Приводится общая схема подключения измерительного модуля к спектроанализатору в составе многофункционального диагностического комплекса. Модуль реализован на базе миникомпьютера Cubieboard A20. Осуществляется непрерывное разложение сигналов (до 32 каналов) на фрагменты равной продолжительности и их независимая математическая обработка по каждому измерительному каналу. Предложенное устройство позволяет анализировать динамику изменений спектра в реальном времени.

Ключевые слова: спектральный анализ, энцефалограф, физиологические сигналы, нестационарные сигналы, диагностический комплекс.

REAL TIME REGISTRATION OF THE ELECTROPHYSIOLOGICAL SIGNALS SPECTRA²**D. Tolkovich^b, E. Andrianova^b**

^b Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, PYBY@inbox.ru

The paper deals with the issues of spectra acquisition for the electrophysiological signals, diagnostics result dependence on the noise level and expert's qualification. A real-time module for amplitude-frequency spectra estimation of electrophysiological signals is designed. A general diagram of connection between measuring module and spectrum analyzer (as a part of multifunctional diagnostic system) is shown. The module is realized on the base of Cubieboard A20 minicomputer. It provides continuous decomposition of signals (up to 32 channels) into fragments of equal length and their independent mathematical processing for each measuring channel. The suggested device makes it possible to analyze the real-time dynamics of spectrum changes.

Keywords: spectral analysis, EEG, physiological signals, non-stationary signals, diagnostic complex.

Для оценки физиологического состояния человека используют различные методы регистрации биологических сигналов. К электрофизиологическим сигналам относятся электроэнцефалограмма, электрокардиограмма, электромиограмма и т.д. Современные приборы способны сохранять и визуализировать зарегистрированные сигналы, обрабатывать их в режиме реального времени (накопление, усиление, фильтрация и т.д.). Ряд приборов обеспечивает возможность математической постобработки сигнала (в частности, спектральный анализ), однако результат ее использования существенно зависит от квалификации персонала. Основной причиной отсутствия в приборах данного класса визуализации спектров в режиме реального времени является сложная природа биосигнала, характеризующегося наличием помех (шумов) физиологического и инструментального происхождения, затрудняющих качественный анализ сигнала.

Спектральный анализ в физиологических исследованиях выполняется следующим образом: исследователь с учетом своего опыта выделяет фрагменты, имеющие видимые изменения зарегистрированного прибором сигнала, для последующего анализа. Этот процесс во многом зависит от мастерства эксперта, так как физиологический биосигнал имеет сложную форму и является композицией нескольких сигналов с различными амплитудно-частотными характеристиками [1, 2]. Спектральный анализ позволяет оценить изменение амплитудно-частотных характеристик физиологического сигнала при изменении внешних воздействий в различные моменты времени [3–5].

Особенностью физиологических сигналов является то, они могут иметь значительную продолжительность и располагаться в низкочастотной области спектра (от 0,01 Гц до 150 Гц). Это вызывает сложности при их регистрации и последующей математической обработке [1]. Данная проблема может быть решена различными методами, например, методом «вызванных потенциалов», в котором для последующего анализа исследователем выделяются фрагменты сигнала определенной длительности (например, 500 мс). Фрагменты сигнала, оказавшиеся за границей выделения, анализу не подвергаются.

Использование спектроанализатора для обработки электрофизиологических сигналов в режиме реального времени позволит наблюдать динамику изменения спектров, визуализировать полученные данные о спектре, а также сохранять и в дальнейшем воспроизводить их при последующих исследованиях. В настоящей работе предлагается использовать спектроанализатор в качестве компонента информационно-измерительного комплекса [6] для регистрации биосигналов при исследовании напряженной нервной деятельности. Модуль обработки спектров представляет собой миникомпьютер Cubieboard 20 со

¹ Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по теме «Исследование нестационарных физиологических сигналов и изображений при интеллектуальной деятельности с помощью многофункционального диагностического измерительного комплекса».

² Done in the framework of Federal Target Program «Research and scientific-pedagogical personnel of innovative Russia» for 2009-2013 entitled «Study of non-stationary physiological signals and images at intellectual activity by the multifunction diagnostic measuring complex»

специализированным программным обеспечением. Выбранный компьютер реализован на открытой архитектуре ARM (Advanced RISC Machine – усовершенствованная RISC-машина) на базе двоядерного процессора a20 Cortex™-A7. К порту материнской платы подключена видеокарта Mali400 MP1 с поддержкой OpenGL ES 2.0/1.1 и аппаратным декодером H.264, также 1GB DDR3 480 МГц оперативной памяти. Использование ARM-процессора позволяет ускорить однопоточные вычисления благодаря увеличению «плотности» обрабатываемых данных. Используемый набор команд полезен для организации итерационных вычислительных процессов, в том числе при разложении сигналов в спектр.

Зарегистрированные электрофизиологические сигналы после оцифровки поступают на модуль спектроанализатора, где подвергаются математической обработке по разложению их в спектр; полученные результаты сохраняются в виде ряда серий на отдельном носителе и выводятся на специализированный монитор. Предложенная схема подключения спектроанализатора (рисунок) позволяет без модернизации используемого медицинского прибора перехватывать и обрабатывать данные независимо от алгоритмов, заложенных в регистрирующем приборе.

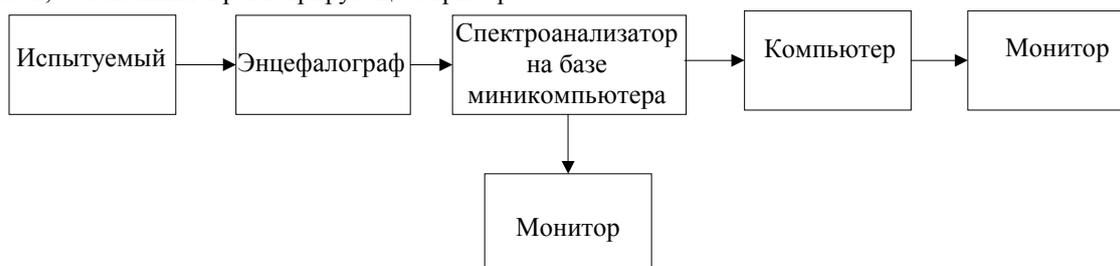


Рисунок. Блок-схема взаимодействия компонентов диагностического комплекса

В модуле спектроанализатора реализована возможность параллельной независимой спектральной обработки каждого канала в отдельности (от одного до 32 каналов). Спектроанализатор позволяет применять различные виды математических преобразований для выделения спектральных компонентов исследуемых сигналов [7]. Модуль может использоваться совместно с любыми электрофизиологическими приборами (миографы, кардиографы, энцефалографы с количеством каналов до 32), позволяя получить более полное представление о составляющих электрофизиологического сигнала по зарегистрированному спектру, следовательно, обеспечивая больше возможностей для анализа данных и медицинской диагностики.

Программное обеспечение спектроанализатора обеспечивает непрерывное разложение регистрируемого сигнала на фрагменты равной длительности и последующее применение к этим фрагментам математических преобразований. Длительность фрагмента выбирается до начала исследования и в процессе исследования не меняется. Дальнейшее усовершенствование устройства связано с реализацией записи результатов спектрального анализа в соответствии со стандартом медицинских данных DICOM 3.0.

Разработанный спектроанализатор в виде отдельного модуля входит в состав информационного измерительного комплекса для исследования нестационарных физиологических сигналов [6, 8], разработанного совместно сотрудниками кафедры ИТикТ НИУ ИТМО и отдела экологической физиологии Научно-исследовательского института экспериментальной медицины Северо-Западного отделения Российской академии медицинских наук (НИИЭМ СЗО РАМН). В настоящее время спектроанализатор проходит испытания в лаборатории нейроэкологии НИИЭМ СЗО РАМН.

1. Gnezditskii V.V. *Vyzvannye potentsialy mozga v klinicheskoi praktike* [Evoked potentials of the brain in clinical practice]. Moscow, MEDpress-inform Publ., 2003, 264 p.
2. Rutman E.M. *Vyzvannye potentsialy v psikhologii i psikhofiziologii* [Evoked potentials in psychology and psychophysiology]. Moscow, Oniks Publ., 2012, 301 p.
3. Kurova N.S., Cheremushkin E.A. Spektral'nye kharakteristiki EEG pri uslozhnenii konteksta kognitivnoi deyatelnosti [Context-Dependent EEG Spectral Characteristics during Performance of Tasks]. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatelnosti im. I.P. Pavlova – I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, 2006, vol. 56, no. 2, pp. 211–218.
4. Nidekker I.G., Antonov A.A. Spectral Analysis of Long Electroencephalographic Records. *Human Physiology*, 2003, vol. 29, no. 3, pp. 377–383.
5. Pavlygina R.A., Davydov V.I., Sakharov D.S., Tutushkina M.V., Pryamonosova A.A. EEG pri reshenii matematicheskikh logicheskikh zadach [EEG in solving mathematical logic problems]. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatelnosti im. I.P. Pavlova – I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity*, 2010, vol. 60, no. 5, pp. 534–542.
6. Marusina M.Ya., Suvorov N.B., Kozachenko A.V., Tolkovich D.V. Sinkhronizatsiya fiziologicheskikh signalov intellektual'noi deyatelnosti cheloveka s pomoshch'yu mnogofunktsional'nogo izmeritel'nogo kompleksa [Synchronizing of physiological signals for human intellectual activity by multifunctional measuring complex]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2013, no. 4 (86), pp. 49–55.
7. Turovsky Ya.A., Kurgalin S.D., Maksimov A.V. Vybór analiziruyushchikh veivletov dlya sistemy s parallel'noi obrabotkoi biomeditsinskikh dannykh [Sampling basis selection for wavelets in parallel biomedical data processing system]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Sistemy analiz i informatsionnye tekhnologii*, 2011, no. 2, pp. 74–79.

8. Anodina-Andrievskaya E.M., Bozhokin S.V., Polonskii Yu.Z., Suvorov N.B., Marusina M. Ya. Perspektivnye podkhody k analizu informativnosti fiziologicheskikh signalov i meditsinskikh izobrazhenii cheloveka pri intellektual'noi deyatel'nosti [Promising approaches to the analysis of informativeness of physiological signals and medical images of the person with intellectual activity]. *Izv. vuzov. Priborostroenie*, 2011, vol. 54, no. 7, pp. 27–35.

- Толкович Дмитрий Владиславович*** – аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, RYBY@inbox.ru
- Андреанова Евгения Сергеевна*** – студент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, Zeneka44@gmail.com
- Dmitry Tolkovich*** – postgraduate, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, RYBY@inbox.ru
- Evgenia Andrianova*** – student, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, Zeneka44@gmail.com