

О ДВУХ АЛГОРИТМАХ ВЫДЕЛЕНИЯ СИНХРОНИЗАЦИЙ И ДЕСИНХРОНИЗАЦИЙ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ

ПЕВЗНЕР А. А., ЯГПУ им. К. Д. Ушинского, Ярославль

ШАХНАЗАРОВ С. С., ЯГПУ им. К. Д. Ушинского, Ярославль

Работа посвящена описанию функционирования автоматизированной системы выделения синхронизаций и десинхронизаций ЭЭГ при синтезе психоактивирующих мелодий. Алгоритмы выделения синхронизаций и десинхронизаций ЭЭГ реализованы в программах, зарегистрированных в Реестре программ для ЭВМ (Григорьева, Певзнер, Шахназаров, 2010 а, б). Программы включены в состав программного комплекса, предназначенного для синтеза психоактивирующих мелодий (Григорьева, Певзнер, Шахназаров, 2012).

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, биоэлектрическая активность мозга, алгоритм, синхронизация, десинхронизация, поиск.

Музыкальное сопровождение образовательного учебного процесса осуществлялось с незапамятных времен. Так, известно, что еще пифагорейцы применяли музыку для регуляции настроения и управления познавательной способностью учащихся (Ван дер Варден, 1959). В настоящее время активное использование музыки в воспитательном и образовательном процессах основывается на результатах многочисленных исследований, продемонстрировавших, что в процессе восприятия музыки происходят оптимизация функционирования мозга, повышение психической активности, возрастание эмоциональной насыщенности и интенсивности деятельности, развитие наглядно-образного мышления, развитие сбалансированного взаимодействия эмоционального и когнитивного компонентов познавательной деятельности, изменение физических и социальных условий среды, в которых происходит процесс обучения.

Однако как организация подачи готового музыкального материала, так и синтез звукового материала определяются в первую очередь механизмами реагирования мозга человека на то или иное звучание. В настоящей работе приводится метод инструментального автоматизированного определения реакции мозга на звуковое воздействие. Важными показателями реакции мозга на воздействие являются синхронизация или десинхронизация биоэлектрической активности мозга. Под синхронизацией понимается возрастание амплитуды биосигнала с одновременным снижением его частоты, а под десинхронизацией понимается снижение амплитуды биосигнала с одновременным возрастанием его частоты. Для автоматизированного определения возникновения синхронизации или десинхронизации биоэлектрической активности мозга авторами были разработаны и реализованы в виде специализированных программ следующие алгоритмы.

Алгоритм I

1. На вход алгоритма подается биоэлектрический сигнал $\{X\}$. Отсчетам сигнала $\{X\}$ соответствуют индексы $\{I\} = \{i, i \in [0; N), N \in \mathbf{N}\}$, где N – число отсчетов сигнала $\{X\}$, и положение во времени $\{T\} = \{\Delta T \cdot i, i \in [0; N), N \in \mathbf{N}\}$, где $\Delta T = \frac{1}{F_d}$, F_d – частота дискретизации сигнала $\{X\}$.

2. Производится поиск локальных экстремумов сигнала $\{X\}$ по разработанному ранее алгоритму (Певзнер, Шахназаров, 2012), завершающийся идентификацией множества найденных локальных экстремумов $\{ex\} = \{j = \{I\}_j, j \in \{I\}, t = \{T\}_j, x = \{X\}_j\}$ каждый $\{ex\}_i$ из которых характеризуется соответствующим индексом отсчета $j \in \{I\}$, положением во времени $\{T\}_j$ и значением отсчета сигнала $\{X\}_j$, где $i \in [0; M)$, M – число найденных локальных экстремумов.

3. Для всех пар $(\{ex\}_p, \{ex\}_{i+p})$, где $i \in [0; M - 1)$ с учетом того, что экстремуму $\{ex\}_i$ соответствует индекс временного отсчета $j \in \{I\}$, а экстремуму $\{ex\}_{i+p}$ соответствует индекс временного отсчета $k \in \{I\}$, вычисляются следующие характеристики:

- $\{P\}_i = \{T\}_k - \{T\}_j$ – полупериод колебания;
- $\{f\}_i = \frac{1}{2 \cdot P}$ – частота колебания;
- $\{A\}_i = \frac{|\{X\}_k - \{X\}_j|}{2}$ – амплитуда колебания;
- $\{T_{Mid}\}_i = \frac{\{T\}_j + \{T\}_k}{2}$ – момент времени, соответствующий срединному значению между экстремумами.

4. Производится расчет средних величин характеристик:

$$f^{Avg} = \frac{1}{M-1} \sum_{i=0}^{M-2} \{f\}_i \text{ – средняя частота колебаний;}$$

$$A^{Avg} = \frac{1}{M-1} \sum_{i=0}^{M-2} \{A\}_i \text{ – средняя амплитуда колебаний.}$$

5. Производится расчет момента синхронизации и момента десинхронизации в соответствии с условиями: для всех пар $(\{ex\}_p, \{ex\}_{i+p})$, где $i \in [0; M - 1)$ при выполнении условия

$\left(\frac{\{A\}_i}{A^{Avg}} > A_{Thr}^{Sync} \wedge \frac{\{f\}_i}{f^{Avg}} < f_{Thr}^{Sync} \right)$ временной отсчет, наиболее близкий к $\{T_{Mid}\}_i$ считается моментом синхронизации, а при выполнении условия $\left(\frac{\{A\}_i}{A^{Avg}} < A_{Thr}^{Desync} \wedge \frac{\{f\}_i}{f^{Avg}} > f_{Thr}^{Desync} \right)$ временной

отсчет, наиболее близкий к $\{T_{Mid}\}_i$, считается моментом десинхронизации, где A_{Thr}^{Sync} – пороговый коэффициент превышения амплитуды относительно среднего значения для выявления синхронизации, f_{Thr}^{Sync} – пороговый коэффициент падения частоты относительно среднего значения для выявления синхронизации, A_{Thr}^{Desync} – пороговый коэффициент падения амплитуды относительно среднего значения для выявления десинхронизации, f_{Thr}^{Desync} – пороговый коэффициент превышения частоты относительно среднего значения для выявления десинхронизации.

При апробации специализированной программы, реализующей данный алгоритм, было обнаружено, что точность выявления синхронизаций и десинхронизаций ЭЭГ снижается при возникновении в сигнале зон обширной синхронизации. Поэтому для повышения точности оценки изучаемых параметров алгоритм был модифицирован следующим образом.

Алгоритм II

1. Выполняются п. 1–5 Алгоритма I.
2. Для всех пар $(\{ex\}_p, \{ex\}_{i+1})$, где $i \in [0; M - 1)$, производится поиск серий расположенных подряд синхронизаций: если парам с индексами $i, i + 1, i + 2, \dots, i + K$ соответствуют моменты синхронизации, а паре с индексом $i + K + 1$ соответствует момент десинхронизации, или ни момент синхронизации, ни момент десинхронизации, или $i + K = M - 2$, то данная серия синхронизаций имеет длину K .
3. Зонами обширных синхронизаций считаются серии синхронизаций длиной не менее K_{Thr} .
4. Выполняются п. 1–5 алгоритма I для всех экстремумов, не входящих в пары, соответствующие зонам обширных синхронизаций.
5. Производится слияние результатов п. 1 и п. 2–4 алгоритма II.

На рисунке приведены результаты применения алгоритма автоматизированного тестирования участков синхронизации и десинхронизации. Временная шкала обозначена буквой «а». Сигнал ЭЭГ обозначен буквой «б». Выявленные синхронизации обозначены символом «↑», а десинхронизации обозначены символом «↓» (строка «в» рисунка). Чертой обозначены серии подряд идущих синхронизаций, а внизу, в строке «г» рисунка, приведены длины соответствующих серий. В строке «д» рисунка приведены гистограммы параметров $\frac{\{A\}_i}{A^{Avg}}$ (темно-серый цвет гистограммы) и $\frac{\{f\}_i}{f^{Avg}}$ (светло-серый цвет гистограммы) соответствующих пар локальных экстремумов. Заданы следующие значения параметров алгоритма:

$$A_{Thr}^{Sync} = 2, f_{Thr}^{Sync} = \frac{3}{4}, A_{Thr}^{Desync} = \frac{1}{2}, f_{Thr}^{Desync} = \frac{3}{2}, K_{Thr} = 10.$$

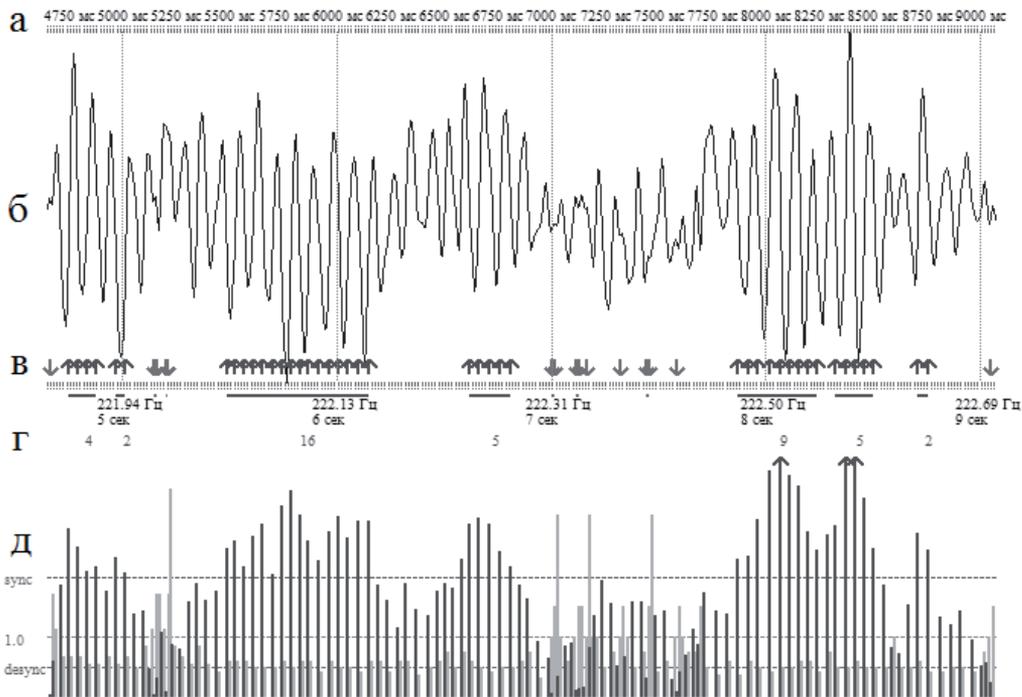


Рисунок. Результат автоматического выявления синхронизаций и десинхронизаций ЭЭГ по алгоритму II

Полученные результаты

На основе предложенных алгоритмов разработаны программы для автоматического выявления участков синхронизации и десинхронизации ЭЭГ, которые затем были включены в состав программно-аппаратного комплекса, предназначенного для синтеза психоактивирующих мелодий. Применение разработанных программ позволило автоматизировать процесс выявления участков синхронизации и десинхронизации ЭЭГ, а также повысить его объективность, точность и скорость.

Литература

Van der Varden B.L. Пробуждающаяся наука. М., 1959.

Григорьева Е.А., Певзнер А.А., Шахназаров С.С. Программа для анализа зависимости ЭЭГ от звукового воздействия // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010613540, в Реестре программ для ЭВМ 28.05.2010 а.

Григорьева Е.А., Певзнер А.А., Шахназаров С.С. Программа для определения моментов синхронизации и десинхронизации ЭЭГ // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010615245, в Реестре программ для ЭВМ 13.08.2010 б.

Григорьева Е.А., Певзнер А.А., Шахназаров С.С. Система для синтеза акустического воздействия для коррекции психофизиологического состояния // Ярославский инновационно-технологический форум «Эврика». Ярославль, 2012.

Певзнер А.А., Шахназаров С.С. Синтез звукового сигнала для коррекции психофизиологического состояния человека // Ярославский педагогический вестник. 2012. № 2. Т. III (Естественные науки. Математика, физика, информатика).

ON TWO ALGORITHMS OF ALLOCATION OF SYNCHRONIZATION AND DESYNCHRONIZATION OF ELECTROENCEPHALOGRAM

PEVZNER A.A., K.D. Ushinsky Yaroslavl State Pedagogical University, Yaroslavl

SHAKHNAZAROV S.S., K.D. Ushinsky Yaroslavl State Pedagogical University, Yaroslavl

The work is devoted to the description of the functioning of the automated system of allocation of synchronizations and desynchronizations of EEG during the synthesis of psycho activating tunes. Algorithms of allocation of synchronizations and desynchronizations of EEG are implemented into the special programs, registered in the Register of software (Grigorieva, Pevzner, Shakhnazarov, 2010 a, b). Programs are included in the software complex, intended for the synthesis of psycho activating tunes (Grigorieva, Pevzner, Shakhnazarov, 2012).

Keywords: EEG, bioelectric activity of the brain, algorithm, synchronization and desynchronization, search.

Transliteration of the Russian references

Van der Varden B.L. Probuzhdajushhajasja nauka. M., 1959.

Grigor'eva E.A., Pevzner A.A., Shahnazarov S.S. Programma dlja analiza zavisimosti EEG ot zvukovogo vozdeystvija // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja EVM № 2010613540, v Reestre programm dlja EVM 28.05.2010 a.



Grigor'eva E.A., Pevzner A.A., Shahnazarov S.S. Programma dlja opredelenija momentov sinhronizacii i desinhronizacii EEG //Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja EVM № 2010615245, v Reestre programm dlja EVM 13.08.2010b.

Grigor'eva E.A., Pevzner A.A., Shahnazarov S.S. Sistema dlja sinteza akusticheskogo vozdejstvija dlja korrekcii psihofiziologicheskogo sostojanija // Jaroslavskij innovacionno-tehnologicheskij forum «Evrika». Jaroslavl', 2012.

Pevzner A.A., Shahnazarov S.S. Sintez zvukovogo signala dlja korrekcii psihofiziologicheskogo sostojanija cheloveka // Jaroslavskij pedagogicheskij vestnik. 2012. № 2. T. III (Estestvennye nauki. Matematika, fizika, informatika).