

Е. А. Григорьева, А. А. Певзнер, С. С. Шахназаров

Алгоритмы поиска синхронизаций и десинхронизаций ЭЭГ

Работа посвящена алгоритмам поиска синхронизаций и десинхронизаций ЭЭГ, основанным на амплитудно-частотном анализе электроэнцефалограммы. Алгоритмы реализованы в программах, зарегистрированных в Реестре программ для ЭВМ [1, 2]. Программы включены в состав программного комплекса для исследования влияния звукового гармонического воздействия на организм человека [3].

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

E. A. Grigorieva, A. A. Pevzner, S. S. Shakhnazarov

Algorithms to Search Synchronization and Desynchronization of EEG

The article is devoted to search algorithms of synchronization and desynchronizations of EEG based on the amplitude-frequency analysis of electroencephalogram. Algorithms are realized in the programmes registered in the Register of the computer programmes [1,2]. Programmes are included into the structure of the programme complex to research influence of the sound harmonious impact on the human body [3].

Keywords electroencephalogram, a bioelectric activity of brain, an algorithm, synchronization, desynchronization, search.

Ранее [4] была установлена закономерность реакции мозга, заключающаяся в том, что при воздействии на человека гармоническим звуком с частотой, кратной частоте локального экстремума максимума фоновой электроэнцефалограммы (ЭЭГ), возникает синхронизация биоэлектрической активности, а при воздействии с частотой, кратной частоте локального экстремума минимума, возникает десинхронизация биоэлектрической активности. При этом коэффициент кратности составляет 2^n , где n – целое число, под синхронизацией понимается возрастание амплитуды биосигнала с одновременным снижением его частоты, а под десинхронизацией – снижение амплитуды биосигнала с одновременным возрастанием его частоты.

При исследовании и управлении корректирующим воздействием важным фактором является объективное определение возникающих синхронизаций и десинхронизаций ЭЭГ.

Для объективизации, ускорения и повышения точности выявления синхронизаций и десинхронизаций ЭЭГ был разработан и программно реализован следующий алгоритм.

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 алгоритму, описанному в [5]. В результате имеем множество 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 $(\{ex\}_i, \{ex\}_{i+1})$, где $i \in [0; M - 1)$, с учетом того, что экстремуму $\{ex\}_i$ соответствует индекс отсчета $j \in \{I\}$, а экстремуму $\{ex\}_{i+1}$ – индекс отсчета $k \in \{I\}$, вычисляются следующие характеристики:

a. $\{P\}_i = \{T\}_k - \{T\}_j$ – полупериод колебания;

b. $\{f\}_i = \frac{1}{2 \cdot P}$ – частота колебания;

c. $\{A\}_i = \frac{|\{X\}_k - \{X\}_j|}{2}$ – амплитуда колебания;

d. $\{T_{Mid}\}_i = \frac{\{T\}_j + \{T\}_k}{2}$ – время, соответствующее отсчету посередине между экстремумами.

4. Рассчитываются средние величины 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. Для всех пар $(\{ex\}_i, \{ex\}_{i+1})$, где $i \in [0; M - 1)$, при выполнении условия $\left(\frac{\{A\}_i}{A^{Avg}} > A_{Thr}^{Sync} \wedge \frac{\{f\}_i}{f^{Avg}} < f_{Thr}^{Sync} \right)$ отсчет, наиболее близкий к $\{T_{Mid}\}_i$, считается моментом син-

хронизации, а при выполнении условия $\left(\frac{\{A\}_i}{A^{Avg}} < A_{Thr}^{Desync} \wedge \frac{\{f\}_i}{f^{Avg}} > f_{Thr}^{Desync} \right)$ 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 данного алгоритма было обнаружено, что точность выявления синхронизаций и десинхронизаций ЭЭГ падает при возникновении в сигнале зон обширной синхронизации. Поэтому для повышения точности алгоритм был модифицирован следующим образом.

Алгоритм II

1. Выполняются п. 1–5 Алгоритма I.

2. Для всех пар $(\{ex\}_i, \{ex\}_{i+1})$, где $i \in [0; M - 1)$, производится поиск серий подряд расположенных синхронизаций: если парам с индексами $i, i + 1, i + 2, \dots, i + K$ соответствуют моменты син-

хронизации, а паре с индексом $i + K + 1$ – 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 n . 1–5 Алгоритма I для всех экстремумов, не входящих в пары, соответствующие зонам обширных синхронизаций.

5. Производится слияние результатов n . 1 и n . 2–4 Алгоритма II.

На рис. 1 приведен результат автоматического выявления участков синхронизации и десинхронизации. Временная шкала обозначена буквой «а». Сигнал ЭЭГ – буквой «б». Выявленные синхронизации обозначены символом «↑», а десинхронизации – символом «↓» (строка «в» рисунка). Чертой обозначены серии подряд идущих синхронизаций, а снизу в строке рисунка «г» приведены длины соответствующих серий.

В строке рисунка «д» 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: $A_{Thr}^{Sync} = 2$, $f_{Thr}^{Sync} = \frac{3}{4}$,

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

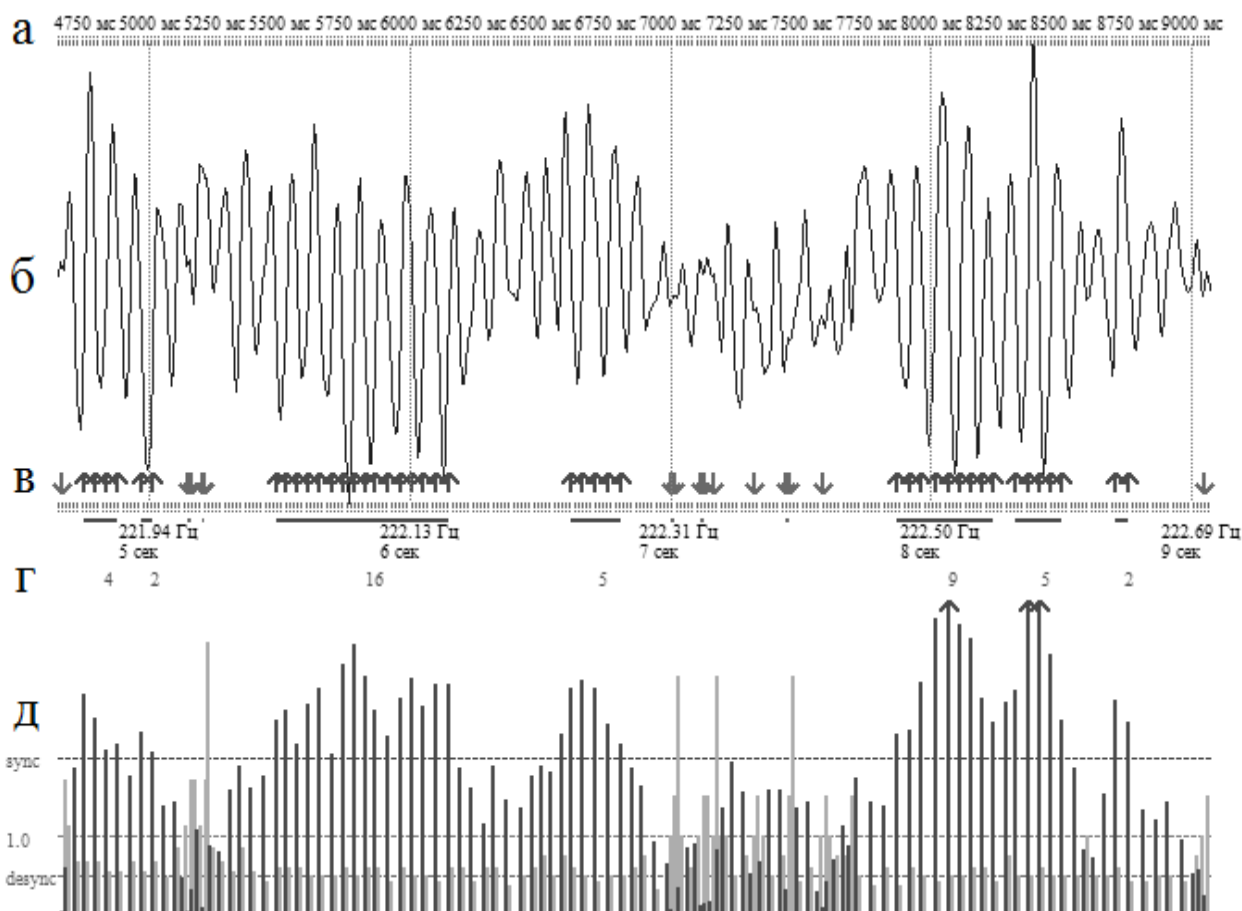


Рис. 1. Результат автоматического выявления синхронизаций и десинхронизаций ЭЭГ по Алгоритму II

Полученные результаты:

На основе предложенных алгоритмов создана программа для автоматического выявления участков синхронизации и десинхронизации ЭЭГ. Разработанная программа включена в состав программно-аппаратного комплекса для исследования влияния звукового гармонического воздействия на организм человека. Ее применение позволило автоматизировать процесс выявления участков синхронизации и десинхронизации ЭЭГ при исследованиях, повысило его объективность, точность и скорость.

Библиографический список

1. Григорьева, Е. А. Программа для анализа зависимости ЭЭГ от звукового воздействия [Текст] / Е. А. Григорьева, А. А. Певзнер, С. С. Шахназаров // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010613540, в Реестре программ для ЭВМ 28.05.2010.
2. Григорьева, Е. А. Программа для определения моментов синхронизации и десинхронизации ЭЭГ [Текст] / Е. А. Григорьева, А. А. Певзнер, С. С. Шахназаров // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010615245, в Реестре программ для ЭВМ 13.08.2010
3. Григорьева, Е. А. Система для синтеза акустического воздействия для коррекции психофизиологического состояния [Текст] / Е. А. Григорьева, А. А. Певзнер, С. С. Шахназаров // Ярославский инновационно-технологический форум «Эврика». – Ярославль, 2012. – С. 22–23.
4. Певзнер, А. А., Григорьева, Е. А. Закономерность реакции организма на звуковое воздействие [Текст] / А. А. Певзнер, Е. А. Григорьева // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации. Распознавание – 2008 : сб. материалов VIII Междунар. конф. Ч. 2 / Курск, 2008. – С. 47–48.
5. Певзнер, А. А. Синтез звукового сигнала для коррекции психофизиологического состояния человека [Текст] / А. А. Певзнер, С. С. Шахназаров // Ярославский педагогический вестник. Естественные науки. – 2012. – Т. 3, № 2. – С. 41–46.