

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 004.8.032.26

АРТЕМЕНКО
Светлана Владимировна

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭПИЛЕПСИИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики

Минск, 2016

Работа выполнена в Учреждении образования
«Брестский государственный технический университет».

Научные руководители:

ГОЛОВКО Владимир Адамович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных информационных технологий УО «Брестский государственный технический университет»;

ЕВСТИГНЕЕВ Виктор Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры неврологии и нейрохирургии ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования».

Официальные оппоненты:

ДУДКИН Александр Арсентьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией идентификационных систем ГНУ «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»;

ЖЕЛЕЗКО Борис Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой экономической информатики УО «Белорусский государственный экономический университет».

Оппонирующая организация – Учреждение образования **«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».**

Защита состоится 03 февраля 2017 г. в 10.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.02 при Белорусском государственном университете по адресу: г. Минск, ул. Ленинградская 8 (корпус юридического факультета БГУ), ауд. 407. Телефон ученого секретаря: 209-57-09.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке БГУ.

Автореферат разослан « 29 » декабря 2016 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций

кандидат физ.-мат. наук доцент _____ Е.С. Чеб

ВВЕДЕНИЕ

Эпилепсия – хроническое неврологическое заболевание различной этиологии, характеризующееся повторными припадками, которые возникают в результате чрезмерных нейронных разрядов (эпилептические припадки). Эпилепсия является одним из наиболее распространенных нервно-психических заболеваний, и охватывает около 1% человечества. Эффективность лечения и прогноз эволюции эпилептической активности зависят от точности и оперативности обнаружения данного заболевания. Распространенным подходом для обнаружения эпилептической активности нейронов головного мозга является анализ сигналов электроэнцефалограмм. Электроэнцефалография, открытая австрийским психиатром и психофизиологом Хансом Бергером в 1924 году, и сегодня является основным методом исследования функциональной активности головного мозга человека. ЭЭГ представляет собой запись суммарной электрической активности мозга, которая позволяет судить о его физиологической зрелости, функциональном состоянии, общемозговых расстройствах и их характере.

Активность нейронов головного мозга при эпилептической активности отличается от нормального состояния, что проявляется в сигналах ЭЭГ. Однако обнаружение эпилептической активности в сигналах ЭЭГ является сложной задачей, так как до сих пор неизвестен точный механизм возникновения эпилептических припадков. Разработано множество методов для изучения и анализа сигналов ЭЭГ с целью выявления патологических изменений мозга во время эпилептических припадков. Для автоматического обнаружения эпилептической активности по сигналам ЭЭГ в основном используются линейные (частотно-временные, математические и статистические) методы, в которых не учитывается нелинейность исследуемого сигнала.

Основным подходом в медицинских учреждениях для диагностики такого заболевания является визуальная инспекция электроэнцефалограмм, качество которой зависит от квалификации врача и очень часто приводит к неадекватному диагнозу. При этом даже опытные врачи расходятся во мнении, принимая один и тот же паттерн за аномальную активность либо за артефакт. Также не существует единого мнения, где фиксировать начало появления эпилептической активности и где она завершается.

Исследования ЭЭГ сигналов показали, что они являются нестационарными и нелинейными. Поэтому применение линейных методов анализа является малоэффективным. Существует разница в динамических свойствах ЭЭГ сигнала в нормальном и эпилептическом состоянии. Согласно современным представлениям электроэнцефалограмма представляет собой нелинейную хаотическую динамическую диссипативную систему. При этом у больных

эпилепсией электроэнцефалограмма имеют более «регулярный» характер, в отличие от здоровых пациентов. Для оценки таких изменений можно использовать теорию нелинейных динамических систем.

Задача оперативного обнаружения эпилептиформной активности является трудноформализуемой, когда невозможно или очень сложно формализовать процесс принятия решений. Поэтому эффективным средством для автоматической диагностики эпилептической активности являются нейросетевые методы обработки биомедицинских данных. Искусственные нейронные сети позволяют анализировать нелинейные динамические системы и обнаруживать в них аномалии при переходе к «регулярному» характеру участка электроэнцефалограммы.

Все вышеописанное свидетельствует об актуальности решения задачи автоматического обнаружения эпилептической активности нейросетевыми методами, так как это позволит повысить качество диагностического процесса и снизить субъективность принимаемых решений.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами) и темами

Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, установленным указом Президента Республики Беларусь от 22 июля 2010 г. № 378. В частности, следующие пункты: п.34.5 обработка и распознавание визуальных данных для поддержки принятия решений; п.34.17 биомедицинские информационные технологии; п.21.3 разработка диагностических приборов, оборудования и наборов, способов инструментального и не инструментального контроля; с учетом сделанных внедрений.

Диссертационная работа выполнена на кафедре интеллектуальных информационных технологий учреждения образования «Брестский государственный технический университет» в рамках следующих научных тем и программ:

– ГКПНИ «Инфотех-08» Республики Беларусь по теме «Разработать методы и алгоритмы обработки изображений и распознавания объектов в системах технического зрения» (№ госрегистрации 200114813) 2005 г., исполнитель.

– ГКПНИ «Инфотех-08» Республики Беларусь по теме «Методы математического моделирования процессов самоорганизации в активных средах» (№ госрегистрации 20063567) 2006 – 2009 гг., исполнитель.

– Задание 15 ГППИ "Разработка и обоснование системы мер для снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и

техногенного характера в Республике Беларусь" по теме "Разработка мобильных измерительных методов и средств регистрации и компьютерного прогнозирования паводковой волны" (№ госрегистрации 20062654) 2008 г., исполнитель.

– НИР МОРБ «Нейросетевая система анализа электроэнцефалограмм для обнаружения и распознавания эпилептиформной активности» (№ госрегистрации 20090433) 2009 – 2010 гг., руководитель.

– ГПНИ «Конвергенция-2020», подпрограмма «Объединение» Республики Беларусь по теме Нейроинтеллектуальные методы детектирования аномалий в сигналах электроэнцефалограмм 2016 – 2018 гг., исполнитель.

Цель и задачи исследования

Основной целью диссертационной работы является разработка эффективных нейросетевых алгоритмов анализа сигналов электроэнцефалограмм для автоматического обнаружения эпилептической активности нейронов головного мозга.

Задачи исследования:

1. Построить нейросетевой алгоритм обнаружения эпилептической активности на основе анализа сигналов ЭЭГ.
2. Разработать модель нейронной сети для ускорения процесса анализа сигналов ЭЭГ с целью обнаружения эпилептической активности.
3. Построить нейросетевой алгоритм адаптивной сегментации сигналов ЭЭГ на условно-стационарные участки с одинаковым уровнем хаотичности.
4. Разработать и программно реализовать диагностическую систему обнаружения эпилептической активности, провести экспериментальные исследования эффективности разработанных алгоритмов.

Объектом исследования являются сигналы электрической активности головного мозга (сигналы ЭЭГ).

Предметом исследования являются методы анализа ЭЭГ и нейросетевые алгоритмы обнаружения эпилептической активности в сигналах ЭЭГ.

Выбор предмета и объекта исследования обоснован низкой эффективностью существующих методов анализа электроэнцефалограмм для диагностики эпилепсии.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы состоит в разработке оригинального подхода для анализа сигналов ЭЭГ, включающего предобработку, фильтрацию, расчет параметров пространства вложения, адаптивную сегментацию, точечную оценку показателя непредсказуемости для каждого сегмента и выделение сегментов с эпилептической активностью. Подход позволяет в автоматическом режиме без формирования эталонных

данных производить классификацию фрагментов ЭЭГ на эпилептические и нормальные, а также определять, как одиночные вспышки активности, так и следующие одно за другим эпилептические события.

Разработаны эффективные алгоритмы анализа сигналов ЭЭГ для обнаружения эпилептической активности. Предложен нейросетевой алгоритм адаптивной сегментации, который базируется на использовании прогнозирующего многослойного персептрона. Сегменты идентифицируются на основе точечной оценки показателя непредсказуемости сигнала для различных его участков, вследствие чего все пространство сегментов разбивается на два состояния: эпилептическое и нормальное. Применение алгоритма снижает вероятность ложного обнаружения, позволяет выделять сегменты малой длительности и границы участков с патологической активностью. Также предложен нейросетевой алгоритм для определения показателя непредсказуемости, который базируется на точечной оценке показателя непредсказуемости сигнала ЭЭГ в каждой точке ряда с усреднением по методу скользящего окна.

На основе проведенных теоретических исследований разработана и программно реализована диагностическая система обнаружения эпилептической активности по набору сигналов ЭЭГ одной регистрации, позволяющая генерировать двумерную карту с локализацией эпилептических вспышек с общей точностью классификации до 99,6%.

Положения, выносимые на защиту

1. Модель нейронной сети для точечной оценки показателя непредсказуемости сигналов ЭЭГ, состоящая из многослойного слабосвязного персептрона с одним скрытым слоем и арбитра, что позволяет параллельно осуществить эволюцию двух точек на фазовой траектории и соответственно ускорить на 10% расчет точечной оценки показателя непредсказуемости при помощи нейронной сети.

2. Алгоритм обнаружения эпилептической активности, основанный на многослойном персептроне и точечной оценке показателя непредсказуемости отдельных фрагментов сигнала ЭЭГ, что позволяет в автоматическом режиме проводить их классификацию на нормальные и с эпилептической активностью.

3. Алгоритм адаптивной сегментации сигналов электроэнцефалограмм, основанный на многослойном персептроне, применение которого снижает вероятность ложного обнаружения и позволяет выделять сегменты малой длительности и четкие границы участков с патологической активностью.

4. Программный комплекс для диагностики эпилептической активности, который на основе анализа сигналов ЭЭГ проводит локализацию эпилептических вспышек (в группе сигналов одной регистрации) и позволяет выявлять сигналы с наиболее ранним проявлением эпилептической активности.

Личный вклад соискателя

Основные положения и результаты диссертации получены соискателем лично. Научный руководитель д.т.н., профессор Головкич В.А. осуществлял постановку задачи и рекомендовал методы для ее решения. Научный руководитель от ГУО «Белорусской медицинской академии последипломного образования» д.м.н., профессор Евстигнеев В.В. осуществлял координацию диссертационной работы в медицинской сфере, с которой плотно пересекается тема исследований. Соавторами работ являются научные руководители, а также д.м.н. Кистень О.В., оказывавшая помощь в подборе исходных данных для исследований. Остальные соавторы работ занимались изучением других научных вопросов, не затрагивающих тему диссертационной работы.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные результаты диссертационных исследований были представлены соискателем на 20 научных конференциях и семинарах: IV республиканская научная конференция молодых ученых и студентов «Современные проблемы математики и вычислительной техники» (Брест, 28–30 нояб. 2005 г.); международная научно-практическая конференция «Современная радиоэлектроника: научные исследования, подготовка кадров» (Минск, 20–21 апр. 2006 г.); VI международная межвузовская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления» (Гомель, 4–5 мая 2006 г.); 4th International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'2006) (Brest, May 31–June 2, 2006); VIII международная школа-семинар аспирантов, магистрантов и студентов «Современные информационные технологии» (Браслав, 2–8 июля 2006 г.); IX всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2007» (Москва, 23–26 янв. 2007 г.); VII международная межвузовская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления» (Гомель, 3–4 мая 2007 г.), доклад отмечен дипломом; The International Joint Conference on Neural Networks 2007 (IJCNN'2007) (Orlando, Florida, USA, Aug. 12–17, 2007); IV IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2007) (Dortmund, Germany, September 6–8, 2007); IX International PhD Workshop (OWD'2007) (Wisla, Poland, Oct. 20–23, 2007); V республиканская научная конференция молодых ученых и студентов «Современные проблемы математики и вычислительной техники» (Брест, 28–30 нояб. 2007 г.); X всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2008» (Москва, 22–25 янв. 2008 г.); 5th International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'2008) (Minsk, May 27–30, 2008), доклад отмечен дипломом; Международная конференция

«Современные информационные компьютерные технологии mcIT-2008» (Гродно, 21–24 апр., 2008 г.); X International PhD Workshop (OWD'2008) (Wisla, Poland, Oct. 18–21, 2008) доклад отмечен дипломом; X International Conference of Pattern Recognition And Information Processing (PRIP'2009) (Minsk, May 19–21, 2009); XI International PhD Workshop (OWD'2009) (Wisla, Poland, Oct. 17–20, 2009); VI республиканская научная конференция молодых ученых и студентов «Современные проблемы математики и вычислительной техники» (Брест, 26–28 нояб. 2009г.), IX республиканской научной конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы математики и вычислительной техники» (Брест, 19–21 нояб. 2015 г.), международная научная конференция «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы» (Be-Safe 2016) (Брест, 25–28 мая 2016 г.).

Результаты работы внедрены, что подтверждается справкой об использовании в НИР Полесского аграрного научно-исследовательского института и четырьмя актами о внедрении: в диагностический процесс УЗ «5-ая городская клиническая больница» г. Минска, в учебный процесс на кафедре неврологии и нейрохирургии ГУО «Белорусской медицинской академии последипломного образования», а также на кафедре интеллектуальных информационных технологий в УО «Брестский государственный технический университет», в НИР УО «Брестский государственный технический университет».

Опубликование результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 40 научных работах, из которых 7 статей в изданиях в соответствии с п.18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (общим объемом 4,5 авторского листа), а также 1 монография, 3 статьи в научных рецензируемых журналах медицинской направленности, 1 статья в журнале «Вестник БрГТУ. Физика, математика, информатика» (2005), 1 статья в сборнике научных работ, 21 статья в сборниках материалов научных конференций и 6 тезисов.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и одного приложения. Полный объем диссертации составляет 149 страниц, в том числе 60 рисунков на 30 страницах, 20 таблиц на 7 страницах, библиографический список из 166 наименований, включая собственные публикации соискателя.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе проведен обзор существующих методов анализа и обработки ЭЭГ сигналов, выполнена постановка задачи исследования.

Рассмотрены различные направления анализа данных ЭЭГ, такие как предобработка сигналов для фильтрации их от шумов и артефактов, методы сегментации, методы обнаружения патологической активности. Обоснована необходимость проведения предварительной обработки сигналов ЭЭГ. Предложено использовать метод независимых компонент, который позволяет производить разделение смешанных сигналов, полученных от статистически независимых источников, для выделения сигналов ЭЭГ, несущих информацию об электрической активности головного мозга, от шумов и артефактов.

Рассмотрены стандартные методы и методы нелинейной динамики для выявления патологической активности. К стандартным методам относятся: метод визуальной оценки, Фурье-анализ и статистический анализ. Фурье-анализ позволяет производить спектральный анализ сигнала, однако имеет ряд существенных недостатков. Он предназначен для работы с линейными процессами и при обработке нестационарного сигнала, когда происходит смена состояний в системе, дает усредненные показатели для всего анализируемого сигнала. Методами нелинейной динамики, применяемыми для анализа ЭЭГ, являются вейвлет-анализ и анализ на хаос в сигнале. Использование вейвлет-анализа позволяет решить проблему обработки нестационарных сигналов, однако требует применения методов распознавания образов, полученных в результате преобразования. Результаты применения вейвлет-анализа для исследования ЭЭГ сигналов показывают, что данный метод не позволяет отличить патологическую активность от артефактов (проявление мускульной и другой активности на ЭЭГ), а также не всегда обнаруживает аномалии в сигналах. Как уже отмечалось, основным недостатком существующих подходов является обучение классификаторов с учителем, что приводит к неавтоматическому анализу ЭЭГ сигналов, так как требует подготовки обучающей выборки с эпилептическими и нормальными векторами. Другим недостатком является невозможность точного выделения временных сегментов с эпилептической и нормальной активностью в сигнале ЭЭГ.

В качестве критерия обнаружения эпилептической активности выбрана точечная оценка значения показателя непредсказуемости ЭЭГ сигналов, который снижается при наступлении эпилептической активности и не требует формирования обучающей выборки с эпилептическими и нормальными паттернами.

Предложено использовать методы сегментации для выделения участков с различной степенью показателя непредсказуемости сигнала. Сегментация

позволяет разделить нестационарный сигнал ЭЭГ на условно-стационарные сегменты, на которых можно производить расчет показателя непредсказуемости. Определена задача поиска оптимального размера окна сегментации для достижения оптимальных результатов обнаружения эпилептической активности.

Во второй главе описан алгоритм обнаружения эпилептической активности в сигналах ЭЭГ, представлена модель нейронной сети, позволяющая ускорить расчет точечной оценки показателя непредсказуемости. Разработан алгоритм анализа сигналов ЭЭГ, позволяющий обнаруживать пароксизмальную активность по значению точечной оценки показателя непредсказуемости сигнала, который включает следующие этапы обработки набора сигналов ЭЭГ:

1) Построение модели прогнозирующей искусственной нейронной сети (ИНС) в соответствии с характеристическими величинами входных данных: временная задержка τ и размер пространства вложения m .

2) Разбиение ЭЭГ-сигнала на фрагменты длительностью N (N может быть, как фиксированной, так и переменной величиной).

Пусть в результате разбиения получено L фрагментов, тогда для каждого l -го фрагмента ($l = \overline{1, L}$) выполняется следующее:

1) Из l -го фрагмента формируется обучающая выборка X , состоящая из $N-k$ образов размерностью k .

2) ИНС обучается и выполняет расчет точечной оценки показателя непредсказуемости сигнала. При этом значения показателя рассчитываются для каждой точки обучающей выборки, и в результате получается следующий фрагмент ряда:

$$L_{\max}(l) = (L_{\max 1}, L_{\max 2}, \dots, L_{\max N}). \quad (1)$$

3) После обработки всех ЭЭГ результаты расчетов объединяются в общий ряд данных, где каждый элемент является характеристикой степени хаотичности исходного ряда в заданной точке:

$$L_{\max}(t) = \{L_{\max}(1), L_{\max}(2), \dots, L_{\max}(L)\} = (L_{\max 1}, L_{\max 2}, \dots, L_{\max NL}). \quad (2)$$

4) Усреднение $L_{\max}(t)$ в скользящем окне размерностью $r = 10$ точек (значение подобрано экспериментально). В результате получается новый ряд $\overline{L_{\max}(t)}$ элементы которого вычисляются следующим образом:

$$\overline{L_{\max i+[r/2]}} = \frac{L_{\max i} + L_{\max i+1} + \dots + L_{\max i+r-1}}{r}, \quad (3)$$

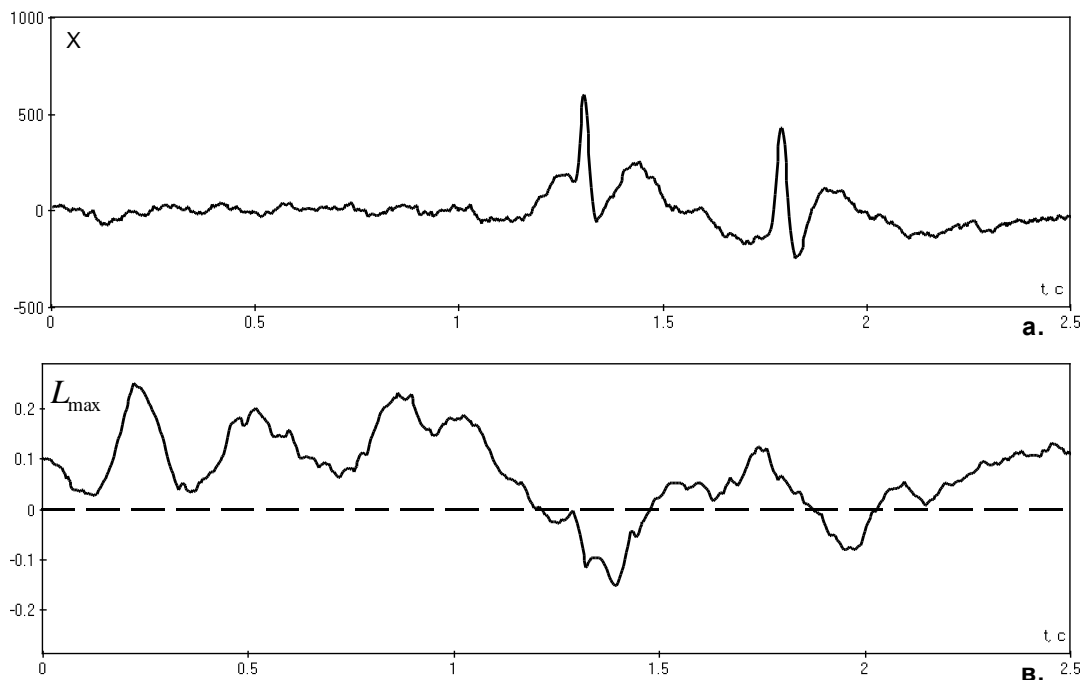
где $i = \overline{1, LN - r + 1}$, r – окно, в котором производится усреднение значений.

5) Определение эпилептической активности в сигнале ЭЭГ по снижению значения $\overline{L_{\max i}}$ в ряду $\overline{L_{\max}}(t)$ ниже порогового значения e согласно критерию:

$$\begin{cases} L_{\max} > e, & \text{нормальная активность;} \\ L_{\max} \leq e, & \text{эпилептическая активность.} \end{cases} \quad (4)$$

Определение порогового значения e выполняется экспериментально.

На рисунке 1 изображен пример обнаружения эпилептической активности в отфильтрованном сигнале ЭЭГ, содержащем два спайка.



а. – ЭЭГ сигнал с двумя острыми волнами; в. – результаты расчета L_{\max} ; X – значения амплитуды ЭЭГ сигнала

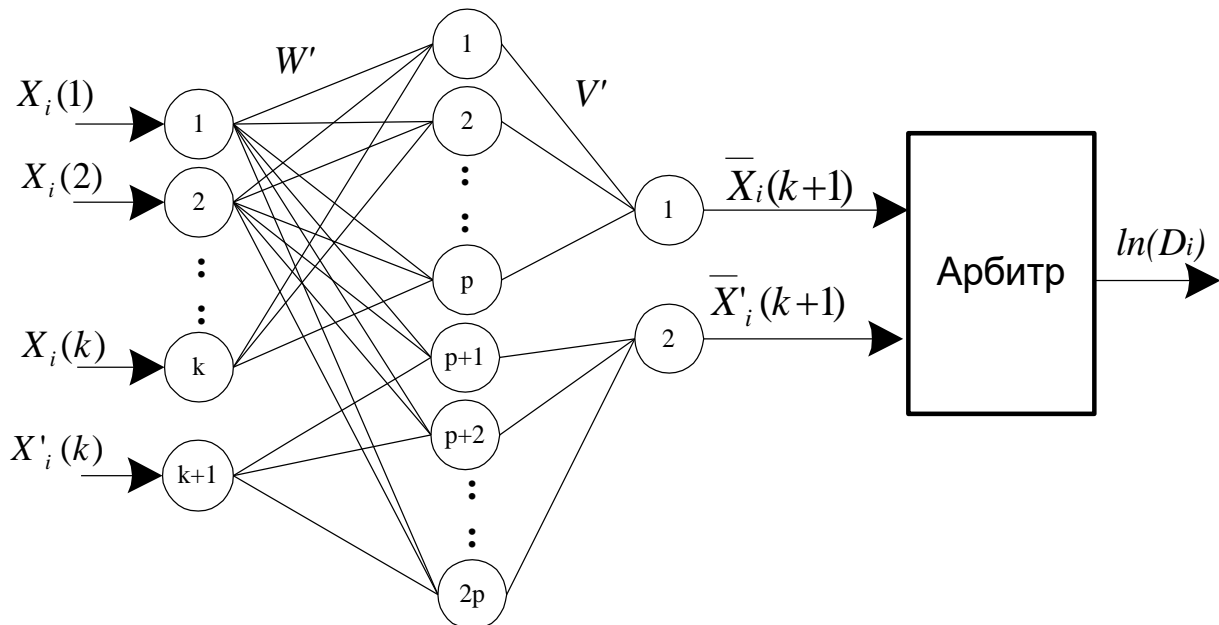
Рисунок 1. – Пример обнаружения эпилептической активности в сигнале

Проведен сравнительный анализ трех моделей прогнозирующих нейронных сетей: многослойный персептрон, рекуррентная сеть Элмана, сеть с радиально-базисной функцией активации. Результаты экспериментальных исследований по предложенной методике показали, что для обнаружения эпилептической активности наиболее эффективным является многослойный персептрон.

Предложено модифицировать структуру многослойного персептрона для точечной оценки показателя непредсказуемости сигналов ЭЭГ (рисунок 2).

Представленная на рисунке 2 нейросетевая модель позволяет параллельно осуществить эволюцию двух точек на фазовой траектории и на 10% ускорить

время вычисления точечной оценки показателя непредсказуемости по сравнению с применением обычного многослойного персептрона.



k – размерность входного вектора; W' и V' – матрицы весовых коэффициентов; X от X' – исходная траектория и траектория с отклонением соответственно; $2p$ – удвоенное количество нейронов в скрытом слое; D_i – отклонение траекторий
Рисунок 2. – Модель нейронной сети для расчета точечной оценки показателя непредсказуемости

В третьей главе описан обобщённый алгоритм для обнаружения эпилептической активности в сигналах ЭЭГ. Рассмотрено применение различных алгоритмов для сегментации сигналов. Рассмотрен способ выбора временного масштаба. Произведен анализ эпилептической активности сигналов ЭЭГ и обоснована необходимость сегментации сигнала ЭЭГ на условно-стационарные фрагменты. Разработан алгоритм адаптивной сегментации на основе прогнозирующих нейронных сетей, который предполагает определение значения характеристического параметра в движущемся по сигналу «окне». При этом при изменении значения этого параметра фиксируется смена сегментов исходного сигнала (в качестве параметра используется точечная оценка показателя непредсказуемости сигнала). Степень сходства определяется путем прогнозирования фиксированного участка исходного сигнала.

Адаптивная сегментация (с помощью прогнозирующей нейронной сети) осуществляется согласно следующему алгоритму:

1) Определяется размер элементарного интервала N ; $t:=1$ – начальная позиция, с которой формируется обучающая выборка.

2) Из элементарного фрагмента временного ряда, начиная с позиции t : $\{x(t), x(t+1), \dots, x(t+N-1)\}$, формируется обучающая выборка, состоящая из $N-k$ образов, где k – размерность одного образа.

3) Производится обучение нейронной сети на прогнозирование выбранных данных.

4) Осуществляется прогноз на f значений. В результате получаем точки $x'(t+N), x'(t+N+1), \dots, x'(t+N+f)$.

5) Для каждой точки из спрогнозированного ряда выполняется сравнение с соответствующей точкой из исходной выборки:

$$|x'(i) - x(i)| > \Delta x_{\max}, \quad (5)$$

где $i = \overline{N, N+f}$, Δx_{\max} – фиксированная величина, определяющая допустимое отклонение прогноза от эталонной траектории.

6) Первая точка из спрогнозированного ряда $x(i)$, для которой выполняется условие (5) принимается за границу сегментов и следующая обучающая выборка формируется начиная с позиции $t := i$. Если условие (5) не выполняется, то есть все полученные точки спрогнозированы с допустимым отклонением, тогда они включаются в текущий сегмент и позиция t смещается на f точек $t := t + f$.

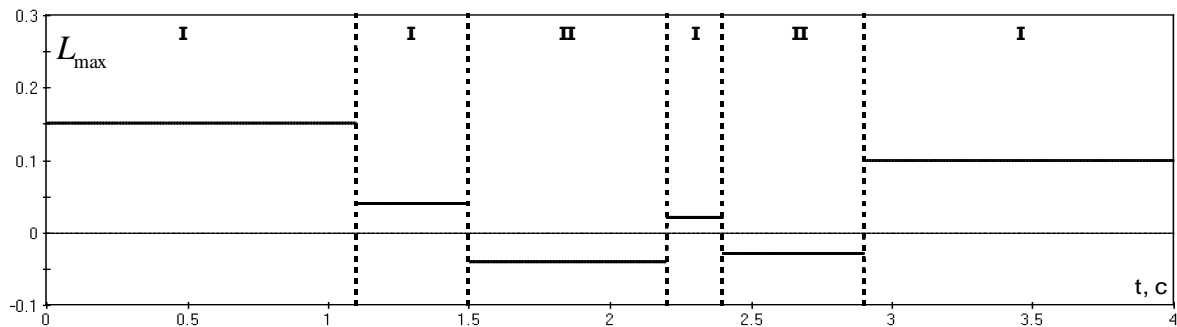
7) Если $t < m - N$, то переходим к пункту 2), в противном случае процесс сегментации завершается.

Для выбора временного масштаба обучающей выборки проанализированы длительности разрядов эпилептической активности. Определены минимальная длительность аномальной активности и наименьший период ее повторения в сигнале. Так как данные временного ряда выбираются для обработки с временной задержкой τ , то размер обучающей выборки N предлагается определять согласно следующему выражению:

$$N \leq \frac{T_{\min}}{\tau}. \quad (6)$$

Проведен сравнительный анализ различных способов сегментации на смешанных сигналах: методом фиксированных интервалов, методом фиксированных интервалов с наложением, адаптивная сегментация при помощи нейронных сетей. Предложенный алгоритм показал наиболее точные результаты выделения сегментов с различными уровнями хаоса в смешанных сигналах. Экспериментально выявлено, что пороговое значение показателя непредсказуемости сигнала при классификации сегментов на нормальную и эпилептическую активность равно нулю ($e = 0$). Исследование применимости алгоритма сегментации для анализа сигналов ЭЭГ показало позволило

определять не только начало участка аномальной активности, но и его длительность, а также возможность выявлять количество пароксизмальных всплесков в сигнале. На рисунке 3 изображен результат адаптивной сегментации и последующего анализа каждого сегмента по значению точечной оценки показателя непредсказуемости для фрагмента ЭЭГ сигнала, представленного на рисунке 1.



I – нормальная активность, II – эпилептиформная активность

Рисунок 3. – Результат адаптивной сегментации фрагмента сигнала ЭЭГ при помощи нейронных сетей

Применение нейронных сетей для сегментации сигналов позволяет снизить вероятность ложного обнаружения, выделять сегменты малой длительности, что делает возможным не только обнаруживать одиночные эпилептические разряды, такие как спайки и одиночные волны, но и выделить четкие границы участков с аномальной активностью. При этом становится возможным определить, в каких сигналах раньше других появляются разряды патологической активности. На основе этого предложено анализировать все ЭЭГ сигналы одной регистрации, что позволяет получать двумерные карты, отображающие наличие патологических активностей сразу во всех сигналах.

В четвертой главе представлена структура диагностической системы, реализованная в виде программного комплекса на основе разработанных алгоритмов, описано взаимодействие модулей (рисунок 4) и представлены результаты экспериментальных исследований.

Комплекс состоит из четырех модулей. Входными данными для системы являются несколько ЭЭГ записей одной регистрации, которые читаются из текстового файла. Данные сохраняются в файлы при помощи существующего программного обеспечения «ЭЭГ-2000», которое используется для регистрации и анализа ЭЭГ данных. Данное программное обеспечение предоставлено Республиканским научно-практическим центром психического здоровья (г. Минск) для проведения исследований.

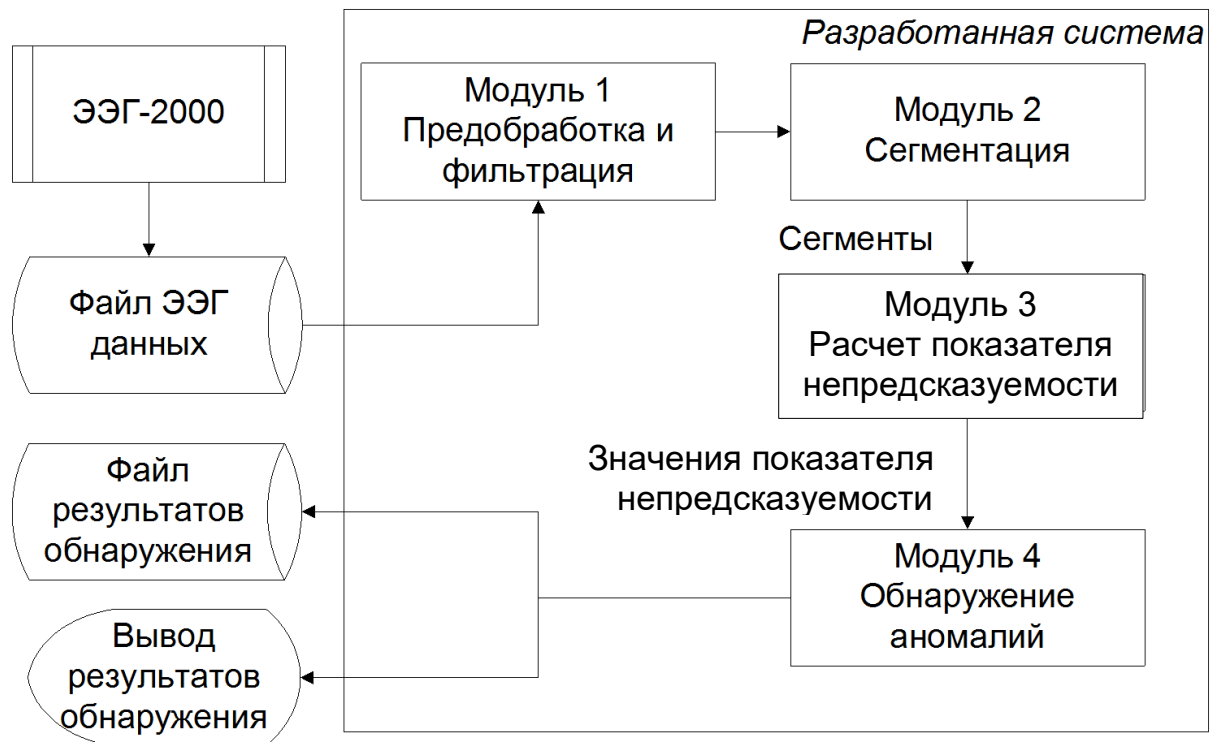


Рисунок 4. – Структура программного комплекса

Этап предобработки заключается в фильтрации сигналов, позволяющей избавиться от артефактов и помех регистрирующих приборов. В результате предобработки каждой группы входных сигналов получается один сигнал, пригодный для последующей обработки. Далее ЭЭГ сигнал подвергается сегментации для выделения участков, которые можно считать условно-стационарными. На каждом из сегментов производится расчет точечной оценки значения показателя непредсказуемости L_{max} . В результате на выходе третьего модуля получаем временной ряд $L_{max}(t)$. Этот временной ряд используется для обнаружения аномалий, то есть в зависимости от значения L_{max} система фиксирует наличие аномалии в сегменте, либо нормальную активность.

При обнаружении аномальной активности система выдает участки (сегменты), на которых эта активность обнаружена. Это свидетельствует о необходимости детального изучения и исследования этих участков.

Экспериментальное тестирование системы проводилось на различных множествах данных. В качестве исходных данных использовались также стандартные ЭЭГ данные, предоставляемые департаментом эпилептологии Боннского университета в свободном доступе через Интернет. В результате эксперимента предложенная система классифицирует фрагменты ЭЭГ с общей точностью 97,7%, что соответствует лучшим результатам, полученным при анализе данных сигналов ЭЭГ.

Основное экспериментальное исследование проводилось на 48 наборах ЭЭГ сигналов (регистраций), записанных у 20 пациентов различного возраста.

Данные предоставлены 5-ой городской клинической больницей (г. Минск). Каждая регистрация представляла собой 16-канальную ЭЭГ длительностью по 8 секунд. Из 16 сигналов, каждой регистрации в результате ICA было получено 6 сигналов, проанализировано 768 сигналов, в результате фильтрации получено 288 сигналов. Для этих сигналов рассчитаны параметры вложения: $\tau = 1$, значение $m < 8$ для разных сигналов после ICA фильтрации. Нейронная сеть для эксперимента формируется из 7, 5 и 1 нейронных элементов во входном, скрытом и выходном слоях. Результаты экспериментов сведены в таблицу 1.

Таблица 1. – Результаты классификации сегментов

Сегменты	Количество сегментов	Результаты классификации	
		Класс 1: эпилептическая активность	Класс 2: нормальная активность
Эпилептические	102	95	7
Нормальные	4262	12	4250

Значения статистических параметров, которые характеризуют качество классификации, показаны в таблице 2.

Таблица 2. – Значения статистических параметров

Статистические параметры	Значения
Специфичность TNR	99,7 %
Чувствительность TPR	93,1 %
Общая точность классификации ACC	99,6 %

Основные преимущества системы по сравнению с другими существующими: высокий показатель правильной классификации; обнаружение эпилептической активности в процессе сканирования ЭЭГ сигнала; классификация без предварительного обучения на эталонном наборе; способность обнаруживать эпилептическую активность различной формы и длительности; устойчивость к шумам в сигналах ЭЭГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработан алгоритм обнаружения эпилептической активности в сигналах электроэнцефалограмм, основанный на точечной оценке показателя непредсказуемости [1, 2, 9, 10, 13, 17, 35]. Точечная оценка показателя

рассчитывается при помощи многослойного персептрона, что позволяет анализировать небольшие участки электроэнцефалограмм, полученные в результате сегментации. Основной функцией алгоритма является классификация в автоматическом режиме участков ЭЭГ на нормальные и фрагменты с эпилептической активностью. Проведены экспериментальные исследования алгоритма. Исследованы различные данные ЭЭГ с чисто-эпилептическими активностями (спайки, острые волны), с медленно-волновой активностью (характеризует не только эпилепсию), а также без патологической активности [1, 3, 14, 15, 19, 20]. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения разработанного алгоритма и точечную оценку показателя непредсказуемости в качестве диагностического критерия, а также возможность определять, как одиночные всплески активности, так и целый ряд следующих один за другим эпилептических событий [1, 12, 36, 37].

2. Разработана модель нейронной сети для расчета точечной оценки показателя непредсказуемости сигналов ЭЭГ. Модель состоит из многослойного слабосвязного персептрона с одним скрытым слоем и арбитра, что позволяет параллельно осуществить эволюцию двух точек на фазовой траектории и соответственно ускорить вычисление точечной оценки показателя непредсказуемости на 10% [1, 34]. Предложены и исследованы различные прогнозирующие нейронные сети для вычисления точечной оценки показателя непредсказуемости. Проведены вычислительные эксперименты и сравнительный анализ эффективности различных прогнозирующих нейронных сетей [1, 4, 18, 21, 22]. Наилучший результат по обнаружению эпилептической активности (96.7 %) получен для многослойного персептрона, который также показал самый низкий процент ложных обнаружений [32].

3. Разработан алгоритм адаптивной сегментации сигналов электроэнцефалограмм на основе прогнозирующей нейронной сети [1, 4, 23, 24, 26, 27]. Проведение сегментации понижает вероятность ложного обнаружения и позволяет выделять сегменты малой длительности. Выполнен сравнительный анализ различных методов сегментации. Проведены экспериментальные исследования этих методов для решения задачи идентификации хаотических процессов на смешанных сигналах. Наилучший результат получен для адаптивного метода с использованием нейронных сетей при известном размере наименьшего сегмента [1, 4, 24].

4. Предложен способ выбора временного масштаба, основанный на анализе сегментируемых рядов и выделении возможного наименьшего размера сегмента, что сделало возможным выделить четкие границы участков с аномальной активностью [1, 5, 16, 26]. Выполнена оптимизация работы нейросетевого алгоритма адаптивной сегментации ЭЭГ данных [28, 31]. Для сегментации сигналов ЭЭГ с целью обнаружения эпилептической активности

эмпирически определен оптимальный размер элементарного интервала $N = 70$. Рассчитано пороговое значение показателя непредсказуемости равное нулю, по которому происходит классификация сегментов согласно критерию (4) [38].

5. Предложена и реализована в виде программного комплекса структура диагностической системы. [1, 6 – 8, 11, 25, 27, 29, 30]. Входными данными комплекса является набор сигналов электроэнцефалограммы одной регистрации. В результате обработки данных система генерирует двумерную карту, отражающую очаги эпилептических вспышек, если таковые присутствуют в анализируемых сигналах [1, 7, 8, 11, 29, 39]. Тестирование на реальных данных показало работоспособность предложенной системы [6 – 8, 11, 25, 29, 30]. Результаты экспериментальных исследований показали, что система обнаружила эпилептическую активность в 93,1 % случаев, при этом правильное соотнесение сегментов к нормальной либо эпилептической активности выполнено в 99,6 % из всех проанализированных сегментов [1, 7, 8, 33, 40]. Полученные результаты анализа ЭЭГ демонстрируют эффективный способ отображения и локализации очагов эпилептической активности [13].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты диссертационной работы позволяют автоматически обнаруживать эпилептическую активность на основе анализа сигналов ЭЭГ с высокой точностью. Разработанный программный комплекс обнаружения эпилепсии может быть использован в учреждениях здравоохранения для повышения качества диагностирования. Разработанные в диссертационной работе нейросетевые алгоритмы могут также применяться для анализа других типов сигналов с целью обнаружения аномалий.

Применение разработанных алгоритмов и программного комплекса подтверждены справкой об использовании и четырьмя актами о внедрении. Нейросетевые алгоритмы исследования хаотических рядов используются в научно-исследовательской работе Полесского аграрного научно-исследовательского института для исследования данных гидрологических характеристик. Разработанный программный продукт на основе предложенных алгоритмов используется в диагностическом процессе Учреждения здравоохранения «5-ая городская клиническая больница» г. Минска. Результаты проведенных научных исследований используются в учебном процессе на кафедре неврологии и нейрохирургии ГУО «Белорусской медицинской академии последипломного образования» в материалах лекций на циклах современные технологии в неврологии, а также на кафедре интеллектуальных информационных технологий в Брестском государственном техническом университете. Результаты диссертационных исследований также внедрены в научно-исследовательскую работу Брестского государственного технического университета.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Артеменко, С. В. Искусственные нейронные сети в задаче диагностики эпилепсии / С. В. Артеменко, В. А. Головки, В. В. Евстигнеев. – Saarbrücken : LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 140с.

Статьи в рецензируемых научных журналах

2. Безобразова (Артеменко), С. В. Нейронные сети для анализа электроэнцефалограмм: обнаружение эпилептиформной активности / С. В. Безобразова (Артеменко), В. А. Головки // Инженерный вестник. – 2006. – № 1 (21)/1. – С. 33–39.

3. Безобразова (Артеменко), С. В. Нейросетевой подход в задаче диагностики эпилепсии / С. В. Безобразова (Артеменко), В. А. Головки // Вест. Брест. гос. техн. ун-та. Физика, математика, информатика. – 2006. – № 5(41). – С. 36–40.

4. Безобразова (Артеменко), С. В. Адаптивная сегментация сигналов электроэнцефалограмм на основе нейронных сетей / С. В. Безобразова (Артеменко), В. А. Головки, В. В. Лаврентьев // Вест. Брест. гос. техн. ун-та. Физика, математика, информатика. – 2007. – № 5 (47). – С. 22–26.

5. Bezobrazova (Artsiomenka), S. Neural-network segmentation of electroencephalogram signals for epileptiform activity detection / S. Bezobrazova (Artsiomenka), V. Golovko // Intern. J. of Computing. – 2008. – Vol. 7, iss. 3. – P. 30–37.

6. Безобразова (Артеменко), С. В. Вспомогательная диагностическая система для анализа ЭЭГ нейросетевыми методами / С. В. Безобразова (Артеменко), В. А. Головки, В. В. Евстигнеев // Вест. Брест. гос. техн. ун-та. Физика, математика, информатика. – Брест, 2008. – № 5 (53). – С. 70–76.

7. Головки, В. А. Нейросетевой анализ электроэнцефалограмм для обнаружения эпилептической активности / В. А. Головки, С. В. Лаврентьева (Артеменко) // Вест. Брест. гос. техн. ун-та. Физика, математика, информатика. – 2011. – № 5 (71). – С. 2–9.

8. Towards automatic epileptic seizure detection in EEGs based on neural networks and largest Lyapunov exponent / V. Golovko, S. Artsiomenka, V. Evstigneev, V. Kistsen // Intern. J. of Computing. – 2015. – Vol. 14 (1). – P. 36–47.

Статьи в рецензируемых научных журналах медицинской направленности и других научных изданиях

9. Головки, В. А. Нейросетевой подход к детектированию эпилепсии / В. А. Головки, С. В. Безобразова (Артеменко) // Вест. Брест. гос. техн. ун-та. Физика, математика, информатика. – 2005. – № 5 (35). – С. 58–61.

10. Безобразова (Артеменко), С. В. Диагностика эпилепсии на основе анализа энцефалограмм / С. В. Безобразова (Артеменко), В. А. Головки // Сб. конкурс. работ студентов и аспирантов – 2005 / Брест. гос. техн. ун-т. – Брест, 2005. – С. 91–94.

11. Диагностическая экспериментальная система для анализа эпилептической активности по данным электроэнцефалограммы / С. В. Лаврентьева (Артеменко), О. В. Кистень, В. А. Головки, В. В. Евстигнеев // Новости мед.-биол. наук. – 2010. – № 1 (1). – С. 114–123.

12. Нейросетевое моделирование и теория хаоса: возможности построения прогнозно-диагностических медицинских систем / В. В. Евстигнеев, В. А. Головки, А. С. Мастыкин, Е. Н. Апанель, О. В. Кистень, С. В. Лаврентьева (Артеменко) // Изв. НАН Беларуси. Сер. мед. наук. – 2010. – № 3. – С. 109–118.

13. Нейронауки: достижения и перспективы / Е. Н. Апанель, В. А. Головки, В. В. Евстигнеев, О. В. Кистень, С. В. Лаврентьева (Артеменко), А. С. Мастыкин, Г. Ю. Войцехович // Здравоохранение. – 2012. – № 11/2012. – С. 60–65.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

14. Безобразова (Артеменко), С. В. Прогнозирование приступов эпилепсии / С. В. Безобразова (Артеменко) // Современные проблемы математики и вычислительной техники : материалы IV респ. науч. конф. молодых ученых и студентов, Брест, 28–30 нояб. 2005 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. В. Тур [и др.]. – Брест, 2005. – С. 5–7.

15. Безобразова (Артеменко), С. В. Исследование хаоса в сигнале электроэнцефалограммы при различных формах активности эпилепсии / С. В. Безобразова (Артеменко) // Современная радиоэлектроника: научные исследования, подготовка кадров : тр. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 апр. 2006 г. – Минск, 2006. – С. 203–206.

16. Безобразова (Артеменко), С. В. Влияния параметров нейросетевой системы на точность идентификации эпилепсии / С. В. Безобразова (Артеменко) // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы VI междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 4–5 мая 2006 г. / Гом. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; редкол.: Д. Г. Лин [и др.]. – Гомель, 2006. – С. 389–393.

17. Golovko, V. A. Neural networks for chaotic signal processing: application to the electroencephalogram analysis for epilepsy detection / V. A. Golovko, S. V. Bezobrazova (Artsiomenka) // International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence : proc. of the 4th intern. conf., Brest, Belarus, 31 May – 2 June, 2006 / Brest state tech. un-ty. – Brest, 2006. – P.136–139.

18. Безобразова (Артеменко), С. В. Сравнительный анализ эффективности различных нейронных сетей для диагностики эпилепсии / С. В. Безобразова (Артеменко), В. А. Головки // Нейроинформатика–2007 : материалы IX всерос.

науч.-техн. конф., Москва, 23–26 янв. 2007 г. : в 3 ч. / Моск. инж.-физич. ин-т. – М., 2007. – Ч. 2. – С. 202–210.

19. Безобразова (Артеменко), С. В. Нейросетевые методы для диагностики эпилепсии на основе анализа электроэнцефалограмм / С. В. Безобразова (Артеменко) // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы VII междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 3–4 мая 2007 г. / Гом. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2007. – С. 413–416.

20. Application of Neural Networks to the Electroencephalogram Analysis for Epilepsy Detection / V. Golovko, S. Bezobrazova (Artsiomenka), S. Bezobrazov, U. Rubanau // The International Joint Conference on Neural Networks : proc. of the intern. conf., Orlando, FL, USA, 12–17 Aug. 2007. – Orlando, 2007. – P. 2707–2711.

21. Bezobrazova (Artsiomenka), S. Comparative Analysis of Forecasting Neural Networks in the Application for Epilepsy Detection / S. Bezobrazova (Artsiomenka), V. Golovko // Intelligent Data Acquisition and Advanced Computer Systems: Technology and Application : proc. of the 4 IEEE workshop, Dortmund, Germany, 6–9 Sept. 2007. – Dortmund, 2007. – P. 202–207.

22. Bezobrazova (Artsiomenka), S. Forecasting neural networks and chaos theory in the application for epilepsy detection / S. Bezobrazova (Artsiomenka) // IX International PhD Workshop : Conf. Archives, Wisla, Poland, 20–23 Oct. 2007. – PTETiS, 2007. – Vol. 23. – P. 47–51.

23. Безобразова (Артеменко), С. В. Повышение точности обнаружения аномалий в сигналах электроэнцефалограмм / С. В. Безобразова (Артеменко) // Современные проблемы математики и вычислительной техники : материалы V респ. науч. конф. молодых ученых и студентов, Брест, 28–30 нояб. 2007 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. В. Тур [и др.]. – Брест, 2007. – С. 6–8.

24. Безобразова (Артеменко), С. В. Нейросетевая модель сегментации электроэнцефалограмм в задаче обнаружения эпилептиформной активности / С. В. Безобразова (Артеменко), В. А. Головкин // Нейроинформатика–2008 : материалы X всерос. науч.-техн. конф., Москва, 22–25 янв. 2008 г. : в 2 ч. / Моск. инж.-физ. ин-т. – М., 2008. – Ч. 1. – С. 89–98.

25. Безобразова (Артеменко), С. В. Применение нейросетевых методов для анализа электроэнцефалограмм / С. В. Безобразова (Артеменко), В. А. Головкин // Современные информационные компьютерные технологии : материалы науч.-практ. конф., Гродно, 21–24 апр. 2008 г. / Гродн. гос. ун-т им. Я. Купалы ; редкол.: Е. А. Ровба [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2008. – С. 11–15.

26. Bezobrazova (Artsiomenka), S. Adaptive Segmentation of Electroencephalogram Signals Based on Neural Networks / S. Bezobrazova (Artsiomenka), V. Golovko // Neural Networks and Artificial Intelligence : proc. of the

5th intern. conf., Minsk, Belarus, 27–30 May 2008. – Minsk : Propilei, 2008. – P. 136–140.

27. Безобразова (Артеменко), С. В. Применение нейросетевых методов и теории хаоса для обнаружения эпилептиформной активности / С. В. Безобразова (Артеменко), В. А. Головки, В. В. Евстигнеев // Современные информационные и телемедицинские технологии для здравоохранения : материалы конф., Минск, 1–3 окт. 2008 г. – Минск, 2008. – С. 133–137.

28. Bezobrazova (Artsiomenka), S. Assistant Diagnostic System for EEG Analysis by Artificial Neural Network Technique / S. Bezobrazova (Artsiomenka) // X International PhD Workshop : Conf. Archives, Wisla, Poland, 18–21 Oct. 2008. – PTETiS, 2008. – Vol. 25. – P. 121–126.

29. Lauretsyeva (Artsiomenka), S. Electroencephalogram Analysis Based on Artificial Neural Network and Adaptive Segmentation / S. Lauretsyeva (Artsiomenka), V. Golovko, V. Evstigneev // Pattern Recognition and Information Processing : proc. of the 10th intern. conf., Minsk, Belarus, 19–21 May, 2009. – Minsk, 2009. – P. 327–331.

30. Lauretsyeva (Artsiomenka), S. Neural Net System For EEG Analysis And Automatic Epileptiform Activity Detection / S. Lauretsyeva (Artsiomenka) // XI International PhD Workshop : Conf. Archives, Wisla, Poland, 17–20 Oct., 2009. – PTETiS, 2009. – Vol. 26. – P. 197–201.

31. Лаврентьева (Артеменко), С. В. Оптимизация нейросетевой системы для анализа электроэнцефалограмм / С. В. Лаврентьева (Артеменко) // Современные проблемы математики и вычислительной техники : материалы IV респ. науч. конф. молодых ученых и студентов, Брест, 26–28 нояб. 2009 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; под ред. В. С. Рубанова [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2009. – С. 20–23.

32. Автоматическая система обнаружения нелинейных изменений на электроэнцефалограмме для диагностики фазы ремиссии эпилепсии / В. А. Головки, С. В. Лаврентьева (Артеменко), О. В. Кистень, В. В. Евстигнеев // Актуальные проблемы медицинской экспертизы и реабилитации больных и инвалидов : сб. науч. ст. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 мая 2010 г. / Науч.-исслед. ин-т мед.-соц. экспертизы и реабилитации ; редкол.: В. Б. Смычок. – Минск, 2010. – С. 341–343.

33. Артеменко, С. В. Сравнительный анализ методов обработки электроэнцефалограмм для диагностики эпилепсии / С. В. Артеменко // Современные проблемы математики и вычислительной техники : материалы IX респ. науч. конф. молодых ученых и студентов, Брест, 19–21 нояб. 2015 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; под ред. В. С. Рубанова [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2015. – С. 6–8.

34. Артеменко С. В. Интеллектуальная система для поиска аномальных изменений в сигналах / С. В. Артеменко // Искусственный интеллект.

Интеллектуальные транспортные системы : материалы междунар. науч. конф., Брест, Беларусь, 25–28 мая 2016 г. / Брест. гос. техн. ун-т. – Брест : БрГТУ, 2016. С. – 29–32.

Тезисы докладов на научных конференциях

35. Безобразова (Артеменко), С. В. Нейросетевой подход для обнаружения эпилепсии / С. В. Безобразова (Артеменко) // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы конф., Гомель, 13–15 марта 2006 г. / Гом. гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель, 2006 – С. 259.

36. Automatic diagnostic System for Paroxysmal Activity Detection / V. Kistsen, S. Laurensyeva (Artsiomenka), V. Evstigneev, V. Golovko // Epilepsia (Proceedings of the 9th European Congress on Epileptology, Rhodes, Greece, 27 June–1 July 2010). – 2010. – Vol. 5, Suppl. 4. – P. 55.

37. Neural-Net Method for EEG Analysis to estimate Remission Stage of Epilepsy / V. Kistsen, V. Evstigneev, V. Ulashchic, S. Laurensyeva (Artsiomenka) // Europ. J. of Neurology (Abstracts of the 14th Congress of the European Federation of Neurological Societies, Geneva, Switzerland, 3 Sept. 2010). – 2010. – Vol. 17, Suppl. 3. – P. 451.

38. Кистень, О. В. Возможности автоматической вспомогательной системы для оценки эффективности противосудорожной терапии / О. В. Кистень, С. В. Лаврентьева (Артеменко), В. В. Евстигнеев // Актуальные вопросы специализированной медицинской помощи, новые направления в медицине : материалы респ. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию УЗ «4-я гор. клинич. больница им. Н. Е. Савченко», Минск, 30 сент. 2010 г. / 4-я гор. клинич. больница им. Н. Е. Савченко ; редкол.: А. А. Троянов [и др.]. – Минск, 2010. – С. 564–566.

39. Epilepsy remission stage statement by nonlinear methods for EEG results processing / S. Artsiomenka, V. Kistsen, V. Golovko, V. Evstigneev // Epilepsia (Proceedings of the 10th European Congress on Epileptology, Rhodes, Greece, 30 Sept.–4 Oct. 2012). – 2012. – Vol. 53, Suppl. 5. – P. 76.

40. Нейроинтеллектуальная система обнаружения эпилептической активности в сигналах ЭЭГ / В. А. Головкин, В. В. Евстигнеев, О. В. Кистень, С. В. Артеменко // Россия-Беларусь-Сколково: единое инновационное пространство : тез. междунар. науч. конф., Минск, 19 сент. 2012 г. / Фонд «Сколково», НАН Беларуси ; редкол.: С. Я. Килин [и др.]. – Минск, 2012. – С. 39–40.

РЭЗІЮМЭ
Арцеменка Святлана Уладзіміраўна
Нейрасеткавыя алгарытмы апрацоўкі электраэнцэфалаграм
для дыягностыкі эпілепсіі

Ключавыя словы: аналіз электраэнцэфалаграм, штучная нейронавая сетка, паказчык непрадказальнасці сігналаў, адаптыўная сегментацыя сігналаў, дыягностыка эпілепсіі.

Мэтай дысертацыйнай работы з'яўляецца распрацоўка эфектыўных нейрасеткавых алгарытмаў аналізу сігналаў электраэнцэфалаграм для аўтаматычнага выяўлення эпілептычнай актыўнасці нейронаў галаўнога мозгу.

Метады даследавання: метады незалежных кампанент, тэорыя штучных нейронавых сетак і тэорыя хаосу, метады сегментацыі нестацыянарных сігналаў, метады камп'ютарнага мадэлявання.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. У ходзе даследаванняў распрацаваны новы нейрасеткавы алгарытм выяўлення эпілептычнай актыўнасці ў сігналах электраэнцэфалаграм па значэнні кропкавай ацэнкі паказчыка непрадказальнасці сігналаў. Праведзены вылічальныя эксперыменты і параўнальны аналіз эфектыўнасці розных прагназуючых нейронавых сетак у задачы дыягностыкі эпілепсіі. Распрацавана мадэль нейронавай сеткі, якая дазваляе паскорыць разлік ацэнкі паказчыка непрадказальнасці сігналаў. Распрацаваны новы алгарытм адаптыўнай сегментацыі сігналаў электраэнцэфалаграм на аснове штучнай нейронавай сеткі. Выкарыстанне нейронавай сеткі пры сегментацыі дазваляе знізіць верагоднасць фальшывага выяўлення, вылучаць сегменты малой працягласці, што зрабіла магчымым упершыню выяўляць адзіночныя ўспышкі эпілептычнай актыўнасці ў аўтаматычным рэжыме. Распрацавана структура дыягнастычнай сістэмы на аснове тэорыі хаосу і тэорыі нейронавых сетак для выяўлення эпілептычнай актыўнасці. Сістэма рэалізавана ў выглядзе праграмнага комплексу. Праведзена эксперыментальнае даследаванне распрацаванай сістэмы, якое пацвярджае эфектыўнасць прапанаваных алгарытмаў аналізу электраэнцэфалаграм.

Галіна прымянення. Атрыманыя вынікі могуць быць выкарыстаны для стварэння дыягнастычнай сістэмы з мэтай павышэння якасці дыягностыкі эпілепсіі.

РЕЗЮМЕ

Артеменко Светлана Владимировна

Нейросетевые алгоритмы обработки электроэнцефалограмм для диагностики эпилепсии

Ключевые слова: анализ электроэнцефалограмм, искусственная нейронная сеть, показатель непредсказуемости сигнала, адаптивная сегментация сигналов, диагностика эпилепсии.

Целью диссертационной работы является разработка эффективных нейросетевых алгоритмов анализа сигналов электроэнцефалограмм для автоматического обнаружения эпилептической активности нейронов головного мозга.

Методы исследования: метод независимых компонент, теория искусственных нейронных сетей и теория хаоса, методы сегментации нестационарных сигналов, методы компьютерного моделирования.

Полученные результаты и их новизна. В ходе исследований разработан новый нейросетевой алгоритм обнаружения эпилептической активности в сигналах электроэнцефалограмм по значению точечной оценки показателя непредсказуемости сигнала. Проведены вычислительные эксперименты и сравнительный анализ эффективности различных прогнозирующих нейронных сетей в задаче диагностики эпилепсии. Разработана модель нейронной сети, позволяющая ускорить расчет точечной оценки показателя непредсказуемости сигнала. Разработан новый алгоритм адаптивной сегментации сигналов электроэнцефалограмм на основе искусственной нейронной сети. Использование нейронной сети при сегментации позволяет снизить вероятность ложного обнаружения, выделять сегменты малой длительности, что впервые сделало возможным обнаруживать одиночные вспышки эпилептической активности в автоматическом режиме. Предложена структура диагностической системы на основе теории хаоса и теории нейронных сетей для обнаружения эпилептической активности. Система реализована в виде программного комплекса. Проведено экспериментальное исследование разработанной системы, которые подтверждают эффективность предложенных алгоритмов анализа электроэнцефалограмм.

Область применения. Полученные результаты могут быть использованы для создания диагностической системы с целью повышения качества диагностики эпилепсии.

SUMMARY

Svetlana V. Artsiomenka

Neural network algorithms of the electroencephalograms processing for the epilepsy diagnostics

Keywords: electroencephalograms analysis, artificial neural network, unpredictability index of signal, adaptive segmentation of signals, the epilepsy diagnostics.

A purpose of thesis is development of effective neural network algorithms for electroencephalograms signal analysis for an epileptic activity of neurons in the brain automated detection.

Research methods: independent component analysis, artificial neural network theory and chaos theory, methods of nonstationary signals segmentation, methods of computer modeling.

The obtained results and their novelty. In the course of researches the new neural network algorithm for epileptic activity detection in EEG signals by the unpredictability index point estimating of a signal is designed. Computational experiments and comparative analysis of various forecasting neural networks in the problem of epilepsy diagnostics are performed. The model of the neural network is developed that allows to expedite the calculation of the unpredictability index of signal. The new adaptive segmentation of EEG signals algorithm based on an artificial neural network is designed. Using the neural network for the segmentation allows to decrease probability of false detection, to mark out segments of short duration, that made it possible the first time to detect single events of epileptic activity. The method of solving the time scale choosing problem by investigating segmenting series is considered. A diagnostic system based on the chaos theory and the theory of neural networks for the epileptic activity detection is designed as a software package. An experimental research of the developed system is executed, that confirm the effectiveness of the proposed algorithms for the electroencephalograms analysis.

Application area. The findings would be used for the diagnostics system creating with a purpose of the epilepsy diagnostics improving.