

Отзыв официального оппонента
на диссертацию Аль-Хулейди Нашван Амин «Система обработки и нейросетевого
анализа биоэлектрических сигналов для решения задач медицинской
диагностики», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук
по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства
телевидения».

Разработка высокоэффективных радиоэлектронных средств на основе перспективных методов и технологий, в том числе искусственных нейронных сетей (ИНС), для обнаружения, распознавания и классификации объектов, сигналов и изображений различного назначения является одной из основных задач радиотехники. Примером таких задач является медицинская диагностика, где необходимо определить, например, тип заболевания.

Как известно, ИНС являются системами обработки информации, отличающимися от обычных систем параллельным характером передачи информации и наличием процесса саморегуляции для обеспечения заданной целевой функции. Эти свойства способствуют их применению в медицинской диагностике и, в частности, для распознавания и классификации нарушений в работе сердечно-сосудистой системы (ССС), что является важной и социально-значимой проблемой в медицине по причине высокой смертности от заболеваний ССС.

Исходя из этого, диссертационная работа Аль-Хулейди Нашван Амин является актуальной, т.к. она связана с решением задачи повышения эффективности и качества функциональной диагностики работы сердца применительно к задачам профилактической медицины с помощью применения нейросетевой обработки и анализа биоэлектрического сигнала, несущего информацию о вариабельности сердечного ритма (ВСР). При этом сердечный ритм (СР) рассматривается как случайный процесс, представленный временным рядом кардиоинтервалов, к которому применимы различные методы обработки, в т.ч. нейросетевые.

Научная новизна диссертационной работы состоит в разработке:

1. Методик создания образов электрокардосигнала (ЭКС) на основе использования гистограммы и скаттерграммы ритма сердца, обеспечивающих получение достоверной информации для распознавания функциональных отклонений в работе сердца;

2. Методики кодирования выходов ИНС для анализа скаттерграмм и гистограмм ЭКС, несущего информацию о вариабельности ритма сердца, позволяющей сократить количество выходов нейросети;

3. Модифицированного алгоритма поиска оптимального размера ИНС, отличающегося дополнительным циклом уточнения результата и выбором зоны поиска оптимального количества нейронов в скрытых слоях персептрона на основе формулы, являющейся следствием из теоремы Арнольда-Колмогорова-Хехт-Нильсена.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается корректным использованием методологии системного анализа, теории ИНС, распознавания образов и цифровой обработки сигналов, корреляционной ритмографии и геометрического метода анализа ВСР; практической апробацией результатов работы и их внедрением; результатами экспериментальных исследований, которые проводились с использованием общепризнанных критериев оценки эффективности нейросетевых методов анализа. В процессе работы использовался ПП Neural Network Toolbox системы Matlab 7. Для анализа ВСР разработано специализированное ПО с помощью программной среды Neural Network Wizard и Delphi.

Полученные лично автором результаты, в целом, являются новыми научными знаниями в области нейросетевого анализа бинарного изображения скаттерграммы и гистограммы электрокардиосигнала. В диссертации приведены иллюстрации, показывающие результаты экспериментальных исследований разработанных алгоритмов.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации подтверждается тем, что цели и задачи исследования сформулированы в результате анализа научных работ по теме диссертации, а основные результаты работы внедрены.

Основные теоретические и практические результаты работы внедрены в научно-исследовательскую деятельность и в учебный процесс кафедры биомедицинских и электронных средств и технологий ВлГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых при подготовке студентов по направлению 201000 «Биотехнические системы и технологии», что подтверждено актом внедрения. Созданное программное обеспечение прошло апробацию в кардиоцентре ГБУЗ ВО «Городская больница N-4 г. Владимира».

В соответствие с заключением о полезности диссертационной работы методика кодирования входов и выходов ИНС, а также модифицированная методика нахождения оптимального числа нейронов скрытого слоя ИНС представляют научно-практический интерес для ОАО «Владимирское КБ радиосвязи» при решении проектных задач, связанных с обработкой радиотехнических сигналов и изображений.

Основные научные и практические результаты работы **апробированы на 7 конференциях международного уровня.**

Самостоятельно и в соавторстве по материалам диссертации **опубликованы 10 работ**, в том числе 3 в профильных журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и библиографического списка, включающего 111 наименований и 2 приложений. Объём диссертации: 143 страницы машинописного текста, 73 рисунка и 42 таблицы.

Первая глава . В данной главе представлен обзор научной литературы по применению ИНС для обработки и анализа сигналов и изображений различной природы, а также специфические особенности решения задачи обработки биоэлектрических сигналов. Также рассмотрены теоретические вопросы создания ИНС, в том числе их структуры, функции активации, методы и

алгоритмы обучения нейросетей, тип нормализации входных образов и критерии эффективности нейронных сетей.

Анализ научной и специальной литературы позволил сделать обоснованные выводы, на основе которых далее решается задача создания ИНС для анализа variability сердечного ритма, а именно, для исследования выбраны нейронная сеть прямого распространения типа многослойный персептрон и модульная структура, основанная на многослойном персептроне, для обучения которых выбран алгоритм обратного распространения ошибки, обладающий способностью минимизировать ошибки. В качестве функции активации выбрана сигмоидальная функция, которая является гладкой функцией, т.е. дифференцируемой на всей временной оси, и позволяет изменять параметры нелинейности для точной настройки нейронов. В качестве критериев эффективности нейронных сетей выбраны чувствительность, специфичность и точность, как наиболее часто используемые на практике. Для определения необходимого количества нейронов в скрытых слоях персептрона предполагается использовать формулу, являющуюся следствием из теорем Арнольда-Колмогорова-Хехт-Нильсена.

Вторая глава. Рассмотрены основные методы анализа электрокардиосигнала, несущего информацию о variability сердечного ритма (ВСР). Анализ современных методов исследования variability сердечного ритма показал, что анализ гистограммы и скаттерграммы ритма сердца является более корректными для оценки нестационарных процессов, которые характерны для биологических систем. В связи с этим в данной работе для анализа ВСР используются геометрические методы (гистограмма) и корреляционная ритмограмма (скаттерграмма).

Результаты этого анализа положены в основу разработки структуры ИНС, алгоритмов программ для создания обучающих и тестовых баз данных, а также проведения исследований возможности и целесообразности применения ИНС для анализа variability сердечного ритма.

Применительно к задачам профилактической медицины в качестве базового сигнала для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) используется динамика сердечного ритма, из которого извлекаются параметры, используемые в ИНС для классификации.

Третья глава. На основе архива PhysioBank, а также записей кардиоинтервалограмм студентов ВлГУ, спортсменов и людей с нарушениями ритма сердца в городе Владимире, сформирован необходимый объем обучающих и тестовых баз данных “Типы ВСР” и “Типы аритмий сердца”.

Для БД “Типы ВСР” все данные были разделены на три основные группы, характеризующие: “симпатический тип” (Тахикардия), “нормальный тип” (Нормокардия) и “парасимпатический тип” (Брадикардия). Кроме того, каждая группа дополнительно разделялась на подгруппы: “норма”, “аритмия”, “дыхание”, “стресс”, а также их комбинации “аритмия и дыхание”, “стресс и аритмия”. В результате сформированы 18 классов, каждый из которых имеет свой собственный эталон.

С целью исследования влияния количества выходов нейросети, соответствующих классам БД “Типы ВСР”, на эффективность её

функционирования, была создана еще одна структура базы данных, содержащая 6 классов значений ритма сердца, определяющих 6 выходов ИНС, соответствующих тахикардии, нормокардии, брадикардии, а также наличию аритмии, стресса и нарушению дыхания. Для выделения информативных признаков в обучающих выборках здесь также использовались значения гистограмм RR-интервалов и бинарной матрицы скаттерграмм.

Проведенный сравнительный анализ результатов исследования двух методов кодирования выходов (18 и 6 классов) ИНС для БД «Типы ВСР» показал, что лучшими характеристиками чувствительности обладает сеть, имеющая 6 классов, что, по мнению автора, можно объяснить увеличением количества обучающих данных каждого класса. Специфичность и точность нейросети является высокой в обоих случаях кодирования выходов ИНС (более 80%). В связи с этим, в дальнейших исследованиях использовался вариант кодирования выходов искусственных нейронных сетей на 6 классов.

Патологии, связанные с аритмией сердца, были выделены в отдельную БД и для выделения информативных признаков использовались скаттерграммы, которые в случаях, когда на фоне монотонного ритма встречаются редкие и внезапные нарушения (наличие аритмии) являются более информативными, чем гистограммы. Обучающая база включала 7 наиболее часто встречающиеся видов аритмий.

С целью выбора оптимального варианта автоматизированного анализа скаттерграмм по их бинарному изображению в ИНС создавались образы скаттерграмм с различным количеством пикселей в матрице (30*30, 60*60, 90*90, 120*120, 150*150). Результаты исследований показали, что при количестве пикселей 90*90 (8100) нейросеть имела лучшие значения средних значений показателей чувствительности (83.6%), специфичности (92.8%) и точности (89.9%).

В работе отмечается преимущество модульного варианта НС, которое заключается в концентрации ресурсов каждого модуля на распознавание только одного класса, что способствует уменьшению вероятности ошибки неверного заключения для всей системы в целом, а также позволяет расширять функциональные возможности ИНС путем увеличения количества доступных для анализа ВСР модулей без переобучения всей системы.

Исходной предпосылкой для разработки методики нахождения оптимального количества нейронов скрытого слоя для выбранных структур ИНС диссертант считает обеспечение равномерного распределения значений чувствительности, специфичности и точности по каждому классу. По его мнению, это способствуют повышению эффективности работы ИНС и дает возможность выбора такого сочетания значений чувствительности, специфичности и точности, при которых обеспечивается максимальная достоверность распознавания ВСР. Исходя из этого Аль-Хулейди Н.А. предлагает алгоритм (и, в дальнейшем, исследует) реализации модифицированной методики оценки количества нейронов скрытого слоя (рисунки 3.9 и 3.10).

В четвертой главе приводятся результаты экспериментального исследования функционирования нейронных сетей на основе структуры «многослойный персептрон» и структуры модульного типа для баз данных «Типы ВСР» и «Типы

аритмий сердца». С целью выявления наиболее эффективного варианта построения нейросетевых блоков для функциональной диагностики сердца, проведен сравнительный анализ указанных структур по критериям: а) чувствительности, б) специфичности, в) точности. Исследование проводилось путём многократного обучения ИНС в зависимости от количества нейронов скрытого слоя. После обучения каждая ИНС проходила тестирование с использованием верифицированной независимой базы данных значений гистограмм и бинарной матрицы скаттерграмм ритма сердца. В результате получены графики зависимости усредненных значений чувствительности, специфичности и точности от количества нейронов скрытого слоя, позволяющие определить оптимальное количество нейронов скрытого слоя.

За основу построения ИНС для разработки прикладного программного обеспечения анализа ВСР автором выбрана модульная структура нейросетевого блока, обеспечивающая большую эффективность распознавания ВСР и аритмий сердца, что подтверждено результатами проведенных исследований.

Результаты исследования нейронных сетей для базы данных «Типы ВСР» показали, что во всех случаях (кроме случаев аритмий) наибольшая эффективность распознавания тахикардии, нормокардии, брадикардии, а также нарушений дыхания и влияния стресса достигается при использовании в качестве источника информации гистограммы путем выделения её образа. Для распознавания наличия аритмий использовались образы скаттерграмм по их бинарному изображению.

Целевой функцией разработанного Аль-Хулейди Н.А. прикладного программного обеспечения для анализа variability ритма сердца является его использование в системах автоматизированного анализа функционального состояния сердечно-сосудистой системы. По результатам выполнения программы выдается информация о наличии или отсутствии отклонений в variability ритма сердца, а также оценку и анализ наиболее часто встречающихся аритмий. Такой автоматизированный анализ variability ритма сердца позволяет решить задачу профилактической (ранней) диагностики сердечно-сосудистой системы у большого числа людей для выделения группы риска.

В заключении приведены основные результаты работы.

В целом работа производит хорошее впечатление. Качество оформления диссертации хорошее, а изложение материала выполнено логично. Материалы четырех глав дают полное представление о диссертационной работе, сделанной Аль Хулейди Н. А.. В конце каждой главы имеются выводы, в которых кратко сформулированы полученные результаты.

Список использованных источников оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ.

Тема диссертации, ее содержание соответствуют специальности 05.12.04 — «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Диссертационная работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты. Автореферат диссертации достаточно полно отражает её содержание.

К недостаткам работы можно отнести следующее:

1. В обзоре литературы по ИНС (глава 1) частично нарушена логика

представления материала, а именно, раздел 1.5 «Примеры практического применения ИНС для распознавания биоэлектрических сигналов (БЭС)» целесообразнее разместить сразу после рассмотрения специфических особенностей применения нейросетевых технологий для задач обработки БЭС (раздел 1.3.).

2. На страницах 77 и 78 приведены рисунки 3.4г и 3.5г, на которых представлены результаты исследования нейросетей в задачах анализа гистограмм и скаттерграмм в зависимости от количества нейронов скрытого слоя, а не количества пикселей.
3. Из описания модифицированной методики оценки количества нейронов скрытого слоя (стр.94) следует, что ее специфика заключается в реализации двух этапов: первый – выбор оптимального количества нейронов осуществляется в интервале от 10 до 510 с шагом в 50 нейронов, на втором этапе найденное количество нейронов уточняется в интервале $X-9$ до $X+9$ с шагом 1. Однако обоснование выбранных значений интервалов и значений соответствующих шагов отсутствует.
4. Наличие текстовых повторов (стр. 94, 3-ий абзац и стр. 108-109, последний абзац), а также грамматических и пунктуационных ошибок.

Тем не менее, указанные недостатки не снижают ценности полученных результатов. Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-технической задачи совершенствования и развития нейросетевых методов обработки и анализа биоэлектрического сигнала, несущего информацию о вариабельности ритма сердца и созданию прикладного программного обеспечения для автоматического анализа вариабельности сердечного ритма.

Считаю, что диссертационная работа Аль-Хулейди Н.А. отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, в частности п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Руководитель технического отдела

ООО «ИнфоЦентр», г. Владимир

к.т.н. Вертилевский Никита Валерьевич

