

Научные исследования в области биокрибернетики и математического моделирования в медицине

Аннотация

Приведен краткий обзор основных направлений исследований, представленных на XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии», прошедшей в г. Владимире с 1 по 3 июля 2020 года, в рамках секции 2 «Биокрибернетика и математическое моделирование».

Введение

В данной статье представлен обзор научных работ секции «Биокрибернетика и математическое моделирование» XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2020», прошедшей в г. Владимире с 1 по 3 июля 2020 года. На секции было представлено 33 научных доклада, в том числе 31 доклад представили ведущие университеты РФ: МГУ им. М.В. Ломоносова, НИЯУ МИФИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИУ МЭИ, РТУ МИРЭА, Владимирский государственный университет, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», НИ НГУ им. Н.И. Лобачевского, Юго-Западный государственный университет, Тульский государственный университет, Марийский государственный университет, Пензенский государственный технический университет – и 2 доклада представили академические институты: Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова и Институт аналитического приборостроения РАН.

Обзор научных работ

В научном сообществе все еще пользуется популярностью направление обработки и анализа биомедицинских сигналов, и прежде всего ЭКГ-сигнала. Это связано с большой информативностью ЭКГ и актуальностью диагностики сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ).

В этом направлении работы традиционно разделяются на исследование функционального состояния сердца по ЭКГ-сигналу и изучение регуляторных функций, связанных с деятельностью сердечно-сосудистой системы.

Исследования коллектива кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) посвящены вопросам выявления поздних потенциалов желудочков (ППЖ) по поверхностной ЭКГ и оценке их характеристик, отражающих степень нарушений проводящих путей желудочков [1].

Для решения поставленных задач были использованы методы и технические средства ЭКГ высокого разрешения. Разработанный алгоритм использовал характерные точки ЭКГ-сигнала (QRSon, QRSoff, R, L и J) для формирования сигнала модуля электрического вектора сердца, который отражает мощность QRS- и ППЖ-компонентов.

Для реализации такого алгоритма требуется обеспечить низкий уровень помех, что особенно актуально при регистрации поверхностного ЭКГ-сигнала. Для этого использовалась пространственная суммация некоррелированных случайных сигналов с разных отведений.

В работе выделены значимые для диагностики показатели ППЖ-сигнала: QRSd – продолжительность QRS-комплекса от точки QRSon до точки J; VRMS – среднеквадратичное напряжение последних 40 мс QRS-комплекса; LAS – продолжительность низкоамплитудных сигналов (менее 40 мкВ) в конце QRS-комплекса; EVLP/EQRS – доля энергии VLP-сигнала в энергии QRS-комплекса. Перечисленные показатели сильно коррелируют с размером зоны поражения миокарда желудочков при инфаркте миокарда и нарушениях электрических характеристик проводящих путей. Для верификации результатов оценки характеристик VLP-сигнала и выявления расположе-

ния области структурных нарушений миокарда проведены исследования по синхронной регистрации поверхностных ЭКГ-сигналов и внутрисердечных электрограмм, установлены закономерности изменения спектра внутрисердечных электрограмм и поздних потенциалов желудочков.

В работе [2] представлены результаты исследования методов классификации ЭКГ-сигналов. Классификация сигналов ЭКГ является непростой задачей вследствие наличия таких проблем, как:

- а) отсутствие стандартизации характеристик ЭКГ;
- б) изменчивость характеристик ЭКГ;
- в) индивидуальность схем ЭКГ;
- г) отсутствие оптимальных правил классификации для классификации ЭКГ;
- д) вариабельность форм ЭКГ пациентов.

Автором доклада были исследованы такие методы классификации, как: метод главных компонент, система нечеткой логики, искусственные нейронные сети, нейро-нечеткие сети, авторегрессионная модель, машина опорных векторов и вероятностный классификатор. Однако сравнение произведено по литературным данным с использованием разных выборок, поэтому количественное сравнение производить не совсем корректно. В данной работе выделен метод главных компонент, который по результатам канадских ученых показал точность 99,61 % выявления типа аритмии.

В работе [3] исследовался вопрос надежности определения параметров кардиоциклов. Исследовались такие методы, как: вейвлет-преобразование (ВП), авторегрессия, метод собственных векторов (МСВ), быстрое преобразование Фурье (БПФ), линейное прогнозирование (ЛП), статистика высокого порядка (СВП). Результаты количественного сравнения этих методов на основе литературных данных, представленные автором, отражены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты эффективности методов

Метод	ВП	Авторегрессия	МСВ	БПФ	ЛП	СВП
Чувствительность, %	61	97,28	97,78	81	96,9	98,90
Специфичность, %	75	97,3	99,25	98	80,4	98,4

Исходя из этого можно сделать вывод о перспективности методов СВП и МСВ для определения информативных параметров кардиоцикла ЭКГ.

ЭКГ используется для диагностики не только сердечно-сосудистых заболеваний, но и других патологий, например сахарного диабета. В работе [4] представлен оригинальный подход к экспресс-диагностике сахарного диабета 2-го типа по ЭКГ, в котором применен новый подход к выявлению значимых параметров исследуемого явления. Решение задачи основано на обучении нейросетевого классификатора. В данном случае это распознавание диабета по кардиоциклу ЭКГ. Для обученной нейронной сети решается задача идентификации модели и выявляются наиболее значимые участки кардиоцикла для принятия решения о наличии патологии. Были выяв-

ны признаки диабета на R-зубце, ST-сегменте и T-зубце, а также PQ-сегменте.

Полученные в данной работе результаты позволяют быстро и эффективно выявить группу риска у широкого круга лиц без использования инвазивных методов. Достоинством выбранного подхода является использование широко используемого в рамках медицинских осмотров метода электрокардиографии.

Другим направлением исследований является моделирование сердечной деятельности, представленное в работах [5], [6].

В работе [5], выполненной коллективом авторов из Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого, представлена разработка модели проводящей системы сердца, позволяющей получить представление об электрических процессах миокарда в норме и при патологии. При построении модели авторы использовали существующие работы и дополнили их элементами для имитации некоторых патологий. Также представлена схема реализации физической модели в форме электронного блока.

С применением математического моделирования также возможно решать задачи получения тех сигналов сердечно-сосудистой системы, которые невозможно или трудно получить стандартными методами. Примером такой работы является алгоритм решения обратной задачи электрокардиографии, представленной авторами из Национального исследовательского университета «МЭИ» [6]. Разработанный авторами алгоритм позволяет перейти от анализа распределений потенциалов электрического поля сердца на поверхности грудной клетки к анализу распределений эквивалентных источников или потенциалов в непосредственной близости от поверхности сердца. Такой переход призван повысить информативность ЭКГ-обследований, особенно на ранних стадиях развития заболеваний.

В следующую группу исследований сердечно-сосудистой системы (ССС) входят работы, касающиеся анализа кардиоинтервалограмм (вариант графиков Пуанкаре). Получение данного сигнала отличается простотой, в качестве исходного могут быть использованы разные сигналы, не только ЭКГ, но и фотоплетизмографический, реографический и другие сигналы, несущие информацию о факте сокращения сердца.

Здесь существуют работы, направленные на удобство визуального представления кардиоритмограмм. Заслуживает внимания работа [7], авторы которой предлагают подход к визуальному анализу корреляционных ритмограмм в динамике. Данный подход особенно актуален при анализе длительных записей ритма сердца, например с холтеровских кардиомониторов.

Различные формы корреляционной ритмограммы свидетельствуют о тех или иных функциональных состояниях работы ССС. Однако при длительных записях функциональные состояния накладываются друг на друга и картина размывается. Авторы данной работы видят решение в построении корреляционной ритмограммы по фиксированной выборке последовательных кардиоинтервалов, которая перемещается вдоль записи кардиоинтервалограммы. Благодаря этому наложения не происходят и есть возможность идентифицировать различные отклонения в вариабельности ритма сердца.

В похожем направлении развивалась работа [8] во Владимирском государственном университете имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, представляющая собой классификацию форм 3D-фазовых портретов (хаосграмм) кардиоинтервалограмм. Автором была показана зависимость формы хаосграмм от состояния летальности пациентов, полученной в результате исследований.

В работе [9] показана прогностическая значимость энтропийного показателя ритма сердца в диагностике таких патологий ССС, как сердечная недостаточность и аритмия. Проведенное исследование продемонстрировало прогностическую значимость на уровне 65 %.

В работах [10], [11] обосновываются принципы использования ритма сердца как индикатора функционального состоя-

ния организма. Предлагается модель механизма аритмогенеза как частный случай начала развития ишемической болезни сердца. Модель так же, как в работе [9], использует энтропийный показатель, но автором введен ряд дополнительных методов обработки сигнала. В итоге разработан физико-математический инструмент анализа диаграмм сердечного ритма и дифференциальных диаграмм сердечного ритма при транзитивных и нозологических состояниях человека и с учетом нестационарных участков обработки ЭКГ.

Исследование [12] посвящено изучению межканальной фазовой когерентности сигналов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при выполнении когнитивных тестов у здоровых испытуемых и пациентов с черепно-мозговой травмой (ЧМТ). Оценка межканальной фазовой синхронизации ЭЭГ основана на определении фазы в точках хребтов вейвлет-спектрограмм ЭЭГ и рассматривалась как задача, обратная задаче моделирования хребтов.

Хребет $|W(t, f_r)|$ рассматривается как фазово-модулированный сигнал с фазой $\Phi(t, f_r) = 2\pi f(t) t_r$. Исходя из этого, сначала выявляется хребет с максимальным значением $|W(t, f_r)|$ в каждой точке отсчета вейвлет-спектра. Далее определяется разность фаз двух сигналов $x(t)$ и $y(t)$ в точках хребтов (t, f_r) их вейвлет-спектров. Затем строятся гистограммы значений разности фаз двух сигналов $x(t)$ и $y(t)$. В рассматриваемой работе это гистограммы значений долей $\rho_{x,y} = n_{x,y} / N$, где $n_{x,y}$ – число точек отсчетов хребтов с дискретизацией гистограммы $\Delta\Phi(t) < 0,01\pi$; N – суммарное число точек отсчетов сигнала ЭЭГ за время проведения теста. В результате выявляются максимальные значения $\rho_{x,y} = \max \rho_{x,y}$.

Авторами работы проведен анализ записей 19-канальной ЭЭГ (количество пар отведений составляет 171) в группе контрольных испытуемых в количестве 18 человек и в группе из 12 пациентов с ЧМТ средней тяжести, из них у 3 пациентов до и после реабилитации при двух когнитивных тестах: когнитивный счетно-логический тест и когнитивный пространственно-образный тест. Было выявлено, что фазово-связанные пары ЭЭГ-каналов в группе контрольных испытуемых находятся при когнитивном счетно-логическом тесте в левом (в правом – при когнитивном пространственно-образном тесте) полушарии и имеются межполушарные связи, а также при когнитивных задачах фазово-связанные пары отведений могут быть расположены в лобных областях. Определение фазово-связанных пар сигналов ЭЭГ может быть использовано для анализа ЭЭГ-записей пациентов с ЧМТ до и после реабилитации, а именно для мониторинга лечения больных с ЧМТ, который позволяет определять положительную или отрицательную динамику лечения.

В работе [13] представлены результаты разработки программного комплекса (ПК) для моделирования и визуализации сдвиговых волн в биологических тканях. ПК включает в себя программу аналитического расчета поля, формируемого ультразвуковым датчиком, и распространения акустической волны, программу визуализации результатов расчета эволюции сдвиговых волн. Программа реализована с использованием среды программирования «MATLAB» и модуля «k-Wave».

Решение задачи распространения сдвиговых волн было разделено на следующие этапы:

- уточнение среды, в которой проводится моделирование (линейная или нелинейная среда);
- выбор датчика (модель стандартного линейного датчика для ультразвуковых исследований);
- расчет величины радиационной силы по результатам фокусировки;
- симуляция распространения сдвиговых волн в среде.

Корректность численного и физического моделирования оценивалась по результатам экспериментальных исследований по измерению скорости сдвиговой волны в калиброванном полимерном фантоме «CIRS Model 049 Elasticity QA Phantom Spherical».

Сравнение результатов выявило сходимость результатов численного и физического моделирования при высокой кон-

центрации полимерного вещества в фантоме, а также превышение характеристик распространения сдвиговых волн, полученных при численном моделировании, по сравнению с физическим.

В работе [14] представлены результаты исследования устойчивости сложных систем с учетом явления нарушения симметрии. Цель выполненной работы – обобщение основных показателей асимметрии состояний сложных систем при выполнении кластеризации признаков. Авторами рассмотрены особенности применения принципа нарушения симметрии для создания прогностических моделей эволюции систем. В качестве ключевых показателей неопределенности состояний системы предложены информационная энтропия и фрактальная размерность. Рассмотрена возможность использования коэффициента Джинни как показателя качества прогностических моделей в задачах классификации в условиях асимметрии классов целевой переменной. Представленные в работе показатели позволяют сформировать единую концепцию исследования сложных систем на основе кластерного анализа с учетом неопределенности состояний системы. Суть концепции заключается в следующих выводах:

- 1) кластерный анализ позволяет описать пространство признаков сложной системы с учетом наиболее ярко выраженных взаимодействий и энтропии системы;
- 2) коэффициент Джинни характеризует нарушение симметрии между признаками отдельных групп элементов системы (кластеров);
- 3) фрактальная размерность обобщает возможности саморепликации информационной и функциональной структур системы в зависимости от дисбаланса структуры взаимодействия отдельных подсистем и определяет направления эволюции;
- 4) наблюдение значений показателей энтропии, коэффициента Джинни и фрактальной размерности позволяет оценить устойчивость системы и качество признаковой кластеризации, а также способность системы к устойчивому восстановлению структуры всей системы.

Предложенные авторами исследования показатели позволяют оценить устойчивость системы и качество кластеризации признаков, а также способность системы устойчиво восстанавливать структуру.

В работе [15] обсуждаются результаты исследования нелинейной проницаемости кожи в точках акупунктуры, представленных нелинейной проводимостью и линейной емкостью. Авторами работы кожа рассматривалась как двухкомпонентная нелинейная схема с сосредоточенными параметрами, состоящая из параллельного соединения линейной емкости и нелинейной проводимости. Ее параметры представлены в виде степенного ряда, разделенного на линейные и нелинейные компоненты. Для уточнения реальных характеристик кожи авторами был разработан программно-аппаратный комплекс для многоканальной системы контроля параметров точек акупунктуры (ТА) и проведены исследования электрических параметров кожи в условиях гипервентиляции легких и без нагрузок.

Результаты исследования позволили разработать прототип многоканальной системы для мониторинга параметров ТА, реализовать конструктивные и аппаратные решения, провести мониторинг электрических параметров ТА.

В работе [16] представлены результаты исследования по разработке аппаратно-программного комплекса для расчета характеристик интраокулярных линз (ИОЛ), используемых при проведении рефракционных операций. Цель работы – повышение точности расчетов, в результате которых будут выбраны интраокулярные линзы, обеспечивающие наилучшую коррекцию зрения. Высокая точность расчета достигается за счет персонализированного учета главных точек и плоскостей двухкомпонентной оптической системы глаза, учета формы роговицы и использования в расчетах параметров ИОЛ конкретных производителей. Расчет реализуется с любым числом измеряемых параметров оптической системы глаза, от максимально возможного набора входных данных при высоком

уровне оснащения офтальмологического отделения до минимально необходимого. В едином программно-алгоритмическом комплексе объединяются способы расчета для разных клинических ситуаций, обеспечивая его универсальность и возможность совершенствования за счет пополнения баз данных ИОЛ от производителей. В результате внедрения продукта на рынок ожидается минимизация количества ошибок при подборе ИОЛ и, как следствие, повышение качества жизни пациентов. Способы расчета могут служить основой для разработки стандартов оказания медицинской помощи в данном направлении.

Авторами работы предложен комплекс показателей оптической системы глаза пациента, которые оцениваются при помощи инструментальных средств на дооперационном этапе, а также уточнены аналитические соотношения, используемые для оценки требуемых характеристик ИОЛ, выбор которых обеспечит наилучшую рефракцию зрения после операции. Большинство этих показателей учитывают индивидуальные характеристики зрения пациента.

В работе [17] представлены результаты исследования по использованию перспективной OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) модуляции для увеличения автономности и безопасности функционирования имплантируемых медицинских устройств. OFDM обладает высокой помехоустойчивостью и позволяет не только увеличить скорость передачи данных, но и снизить до минимальных значений расход энергии передатчика на 1 бит данных. Для изучения помехоустойчивости передачи данных разработана модель воздействия шумовой помехи на сигнал с OFDM-модуляцией для оценки помехоустойчивости OFDM. Результаты исследования позволили выявить слабые места OFDM-модуляции и предложить алгоритмы обработки данных, обеспечивающих высокую помехоустойчивость.

Разработанная модель имеет следующие ограничения:

- 1) моделирование воздействия шума на передаваемый сигнал выполняется на уровне видеосигнала, без учета многолучевого распространения;
- 2) разработанная модель имитирует только косинусоидальную составляющую сигнала квадратурного кодирования, так как воздействие шумов на синусоидальную составляющую аналогично.

Разработана функциональная схема модели воздействия шумовой помехи на сигнал с OFDM-модуляцией. Основные ее функциональные узлы отражают ввод передаваемых данных и параметров; обратное преобразование Фурье (FFT)⁻¹ с заданным шагом дискретизации, частотой передачи блоков сигнала и интерполяцией промежуточных значений; формирование шумовой помехи с распределением Гаусса, восстановление сигнала при помощи прямого быстрого преобразования Фурье (FFT); визуализацию формы сигнала. Были проведены простейшие исследования OFDM на предмет межсимвольных искажений с целью предварительного тестирования модели.

Для изучения характера взаимодействия полезного сигнала с помехой проведено моделирование OFDM-сигнала в отсутствии и при наличии случайной аддитивной шумовой помехи.

Результаты моделирования выявили следующее:

- 1) при отсутствии аддитивной шумовой помехи восстановление выполняется с точностью до аппаратной погрешности. Межсимвольные искажения отсутствуют;
- 2) при наличии шумовой помехи наблюдаются межсимвольные искажения. Выборки выходного сигнала увеличенной амплитуды способны подавлять или подчеркивать смежные выборки, увеличивая совместно с шумом вероятность их искажения;
- 3) представление OFDM-сигнала в виде суммы поднесущих не является объективным. В действительности OFDM – это классический сложный сигнал со всеми его свойствами;
- 4) с позиции помехоустойчивости, OFDM – это сложение переданных сигналов по напряжению, а случайных помех – по мощности, что означает увеличение помехоустойчивости при увеличении количества выборок в пакете. Исход

из этого, в медицинских устройствах, отличающихся короткими многократными посылками, следует стремиться увеличивать длину блока передаваемых данных. Это уменьшит требуемую мощность передатчика и увеличит время автономного функционирования.

В работе [18] приводятся результаты использования методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП) для задач оценки влияния электромагнитных полей (ЭМП) радиочастотного диапазона на организм человека.

В соответствии с МСГНРП авторами предложена следующая последовательность действий.

1. Формирование экспертной группы, компетентной в области взаимодействия ЭМП с биообъектами и имеющей опыт синтеза гибридных нечетких решающих правил для решения задач прогнозирования и медицинской диагностики с плохо формализуемой структурой данных. Качественный и количественный состав группы выбирается в соответствии с требованиями квалиметрии.

2. Выбираются исследуемые диапазоны частот f_i , классы порождаемых ими заболеваний и сопутствующие экзогенные и эндогенные факторы риска, характеризующиеся набором информативных признаков x_j в соответствии с общими рекомендациями МСГНРП.

3. Уточняются функции принадлежности к классу заболеваний для частотного диапазона и определяется уверенность в появлении и развитии заболеваний для диапазонов частот, показатели электрической и магнитной напряженности которых превышают половинные значения предельно допустимых уровней (ПДУ).

4. Уточняются вид и параметры функций принадлежности и синтезируются модели, описывающие энергетическую экспозицию для воздействующих малоинтенсивных ЭМП.

5. Разрабатываются нечеткие табличные модели для нестабильных во времени и пространстве ЭМП радиочастотного диапазона с плохо определяемыми классами состояний.

6. Определяется уверенность в появлении и развитии заболеваний для нескольких источников с различными временными экспозициями агрегацией частных функций.

7. Формируется комплекс индикаторов (внимание, память, мышление, изменение энергетического состояния биологически активных точек) для оперативного слежения за состоянием здоровья людей, находящихся в зоне действия ЭМП. Этот комплекс показателей может быть использован в моделях принятия решений с использованием агрегированной функции уверенности в целях повышения качества принимаемых решений и контроля текущего состояния обследуемых.

Эффективность использования описанного метода проверялась на решении задач прогнозирования и ранней диагностики нервных болезней у людей, находящихся в ЭМП, порождаемых работой персонального компьютера, мобильного телефона и беспроводной сети.

В работе [19] рассмотрены результаты применения абстрактно-фрактального анализа для выявления признаков самоподобия в биомедицинских сигналах. Показано, что использование нелинейных методов анализа сигналов, характеризующихся выраженностью в них хаотических компонент, позволяет выявить отличительные свойства сигналов и повысить эффективность методов и алгоритмов распознавания функциональных состояний организма. Авторы работы на экспериментальном материале показали возможность использования для этих целей двух нестандартных подходов: оценки показателя Херста и мультифрактального анализа.

При использовании метода оценки показателя Херста предложен алгоритм поэтапного определения размаха отклонения $R(N)$, стандартного отклонения $S(N)$, и нормированного отклонения Херста $R/S = (\alpha N)^H$, где α – постоянная; N – последовательность отсчетов сигнала; H – показатель Херста, который принимает значения от 0 до 1. Показано, что при отсутствии долговременной статистической зависимости (случайный ряд), H асимптотически стремится к 0,5 при $N \rightarrow \infty$. Чем

ближе H к 0,5, тем более зашумлен ряд и менее выражен его тренд. При $0,5 < H < 1$ наблюдается персистентный временной ряд, который характеризуется эффектами долговременной памяти. При $0 < H < 0,5$ ряд характеризуется краткосрочной памятью.

Отношение R/S является безразмерной величиной и используется для сравнения размахов различных временных рядов.

Обобщенный показатель Херста может быть определен и при проведении мультифрактального детрендрованного флуктуационного анализа (МФДФА). Авторы предложили алгоритм поэтапного определения обобщенного показателя Херста и провели его исследование при различной длине временного ряда. Эффективность использования предложенных методов и алгоритмов авторы продемонстрировали на примере выявления различных стадий наркоза и сна при обработке электроэнцефалограммы, характеризующейся высокой степенью хаотичности.

В работе [20] предлагается технология эмпирической модовой декомпозиции сигналов, отражающих нелинейные и нестационарные процессы, на различные составляющие. Потребность в использовании такой технологии возникает при решении задач разделения биомедицинских сигналов, представляющих собой суперпозицию двух и более биомедицинских сигналов, отражающих деятельность различных систем организма. Примером такого сложного композиционного сигнала является суперпозиция ЭКГ-сигнала и сигнала электрического импеданса грудной клетки. Модовая декомпозиция сигналов основана на преобразовании Гильберта-Хуанга и гильбертовом спектральном анализе. Сущность преобразования Гильберта-Хуанга заключается в локальном управлении разделении сигнала в его быстрых и медленных колебаниях. Добавление белого гауссового шума обеспечивает смешивание мод. Восстановленный сигнал включает в себя остаточный шум и различные реализации этого сигнала и шума. Электрическая модовая декомпозиция разбивает сигнал на небольшое количество внутренних функций (IF) и определяет их компоненты. Автором исследования приведен пример использования модовой декомпозиции сигналов для эффективного подавления помех при обработке ЭКГ-сигнала при соотношении сигнал/помеха (SNR) не менее 14 дБ. Предложенный авторами статьи алгоритм анализа и обработки нелинейных и нестационарных сигналов успешно опробован на регистрации электрокардиограммы пациента и сигнала дыхания с единой системы электродов. Показано, что метод модовой декомпозиции сигналов имеет следующие преимущества: меньше половины итераций просеивания по сравнению с EEMD, возможность восстановления исходного сигнала с высокой точностью путем суммирования мод.

Заключение

Результаты исследований, представленные на секции «Биокибернетика и математическое моделирование» XIV-й Международной научной конференции «ФРЭМЭ'2020», выявили основные тенденции в области биокибернетики и математического моделирования.

1. При разработке математических моделей биологических процессов и биотехнических систем наблюдается широкое использование технологий машинного обучения, нейронных сетей.

2. Для обработки биомедицинских сигналов, подавления уровня шумов и помех широко используются методы дискретного вейвлет-преобразования, цифровой фильтрации.

3. При обработке биомедицинских сигналов, характеризующихся высокой степенью хаотичности, широко используются нелинейные методы анализа, методы абстрактно-фрактального и мультифрактального анализа.

Все перечисленные методы широко используются как при разработке аппаратно-программных комплексов, предназначенных для диагностики состояния человека, классификации этого состояния, так и в специализированных инструментальных средствах медицинского назначения.

Список литературы:

1. Юлдашев З.М., Немирко А.П., Рипка Д.С. Исследование нарушений электрического возбуждения миокарда желудочков по поверхностным ЭКГ-сигналам / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 109-113.
2. Дахва М.С. Сравнительное исследование методов классификации ЭКГ-сигналов / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 137-144.
3. Дахва М.С. Обзор методов извлечения признаков ЭКГ / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 144-149.
4. Исаков Р.В., Ананьева А.А. Результаты поиска признаков диабетических изменений ЭКГ с применением нейросетевого анализа / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 149-153.
5. Бритин С.Н., Бритина М.А., Власенко Р.Я. Электрическая модель проводящей системы сердца / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 116-119.
6. Куприянова Я.А., Жихарева Г.В., Мишенина Т.Б., Куропаткин С.А. Выбор параметров алгоритма решения обратной задачи электрокардиографии / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 123-127.
7. Тимофеева П.Ю., Алексеев Б.Э., Манило Л.А., Немирко А.П. Алгоритм автоматического представления динамики корреляционных ритмограмм на длинных записях сигналов / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 119-123.
8. Кузнецов А.А., Чепенко В.В. Универсальные стадии аритмогенеза при работе сердца / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 159-163.
9. Силкина У.И., Баландин В.А. О прогностической значимости энтропийного показателя / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 127-130.
10. Кузнецов А.А. Феноменологическая модель нейрогенного аритмогенеза / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 155-159.
11. Кузнецов А.А. Числовой индикатор аритмогенеза / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 163-167.
12. Толмачева Р.А., Обухов Ю.В., Жаворонкова Л.А. Межканальная фазовая синхронизация ЭЭГ у пациентов с черепно-мозговой травмой до и после реабилитации / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 130-133.
13. Лисин А.А., Калинин Е.М., Демин И.Ю. Программный комплекс с графическим интерфейсом для моделирования и визуализации сдвиговых волн в мягких биологических тканях / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 153-155.
14. Никитин О.Р., Кисляков А.Н. Показатели симметрии в кластерном анализе сложных систем / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 168-172.
15. Косоруков А.Е., Еланская О.М. Разработка многоканальной системы для мониторинга параметров точек акупунктуры / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 172-176.
16. Сабина А.Р., Сафонова Л.П. Проблемы проектирования системы автоматизированной поддержки планирования рефракционных операций / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 177-179.
17. Давыдов Г.Д., Сушкова Л.Т. Исследование возможности увеличения длительности и безопасности функционирования медицинских датчиков путем моделирования сигналов с OFDM модуляцией в среде LABVIEW / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 179-181.
18. Корневский Н.А., Титова А.В. Нечеткие модели оценки влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона на организм человека / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 181-184.
19. Старченкова К.С., Манило Л.А. Использование показателя Херста в анализе ЭЭГ сигналов / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 184-188.
20. Силаева А.А., Кобелев А.В., Аполлонова И.А., Николаев А.П. Метод эмпирической модовой декомпозиции обработки физиологических сигналов со служебной собаки / Труды XIV Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». 1-3 июля 2020 года, Владимир-Суздаль. Кн. 1. С. 188-191.

Зафар Мухамедович Юлдашев,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра «Биотехнические системы»,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)»,
г. С.-Петербург,
Роман Владимирович Исаков,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра «Биомедицинские
и электронные средства и технологии»,
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный
университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Владимир,
e-mail: Isakov-RV@mail.ru