

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию **Девярых Дмитрий Владимирович**

«Модель, алгоритмы и комплекс программ для неинвазивной фетальной электрокардиографии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность работы

Задача проведения неинвазивной фетальной электрокардиографии является актуальной практической задачей. В пользу этого говорит потенциальная затруднительность для плода проведения частых и долговременных исследований с использованием ультразвуковых технологий, которые используются в настоящее время для текущего контроля развития плода. Также существуют ограничения и на используемые при анализе частоты, что в свою очередь ограничивает получаемые данные. В пользу актуальности проблемы говорит также и рост работ в данном направлении, подтвержденный проведенным соискателем обзором. Для решения приведенной актуальной проблемы предлагается использование неинвазивного кардиомониторинга, что позволяет устранить выделенные недостатки, однако, тогда возникает проблема разделения кардиосигналов матери и плода при автоматическом проведении исследования. В настоящее время данная задача решается при мониторинге вручную специалистом, предложенный Девярых Д.В. подход позволяет автоматизировать этот процесс и делегировать его программно-аппаратному комплексу, оставив специалисту контролирующие корректность функции и принятие решения при проведении диагностики.

Структура диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы и четырех приложений. Диссертация содержит 129 страниц, 52 рисунка, 13 таблиц. Список цитируемой литературы включает 101 наименование.

Первая глава посвящена обзору существующих алгоритмов выделения источников абдоминальной диаграммы. Рассматриваются пять принципиально разных подходов к выделению кардиограммы плода и регистрации параметров на ее основе, выделяются существенные недостатки, мешающие принципиальной автоматизации процесса регистрации электрокардиограммы

плода, такие как регистрация только частоты сердцебиения без возможности съема кардиограммы и выделения ее параметров, низкая способность к разделению источников, особенно в случае, когда амплитуда сигнала плода в несколько раз меньше амплитуды сигнала матери. Обосновывается применение нейросетевого подхода к выделению с необходимостью его модификации.

Во второй главе рассматривается модель и численная реализация оценки состояния сердечной активности плода. Проводится построение модели электрокардиограммы плода, рассматриваются динамические сети, проблемы, связанные с их обучением, проводится анализ метода обучения нейронной сети и проводится его модификация.

В третьей главе приводится численный эксперимент, связанный с подбором внутренней структуры нейронной сети, выбором ее параметров. После этого проводится проверка адекватности разработанной модели. В следующем подразделе описывается программный комплекс для неинвазивного выделения кардиограммы плода, рассматривается его структура, проводится сравнение получаемых результатов с методом-аналогом (методами слепого разделения и анализа главных компонент). По результатам проверки делается заключение с одной стороны о соответствии получаемых результатов результатам аналогов, с другой стороны отмечается более высокая точность получаемых результатов по сравнению с аналогами при использовании в качестве эталона сигнала, обработанного вручную.

Степень обоснованности научных положений и выводов

Девятых Д.В. корректно использует существующие научные методы при интерпретации полученных в результате исследования результатов и обоснования выводов. При написании работы автором изучено множество отечественных и зарубежных публикаций по исследуемой тематике, что подтверждается списком из 101 публикации из как отечественных, так и зарубежных источников, что позволяет говорить об учете имеющихся наработок по проблеме неинвазивного анализа фетальной кардиограммы плода и наличии сравнения с мировыми аналогами, предлагающими решение поставленной задачи.

Оценка новизны работы

1. Модель электрокардиограммы плода позволяет выделить источники абдоминальной электрокардиограммы, полученной в результате нелинейного и нестационарного смешивания, вне зависимости от выборки точки отсчета и длительности сигнала – новая модель, позволяющая на качественно более высоком уровне по сравнению с аналогами осуществлять разделение источников абдоминальной электрокардиограммы.

2. При обучении параллельно развернутой динамической нейронной сети с использованием предложенного в работе численного метода достигается

значение среднеквадратичной ошибки порядка 10^{-2} , что на порядок меньше по сравнению с алгоритмами обучения Левенберга-Марквардта, сопряженных-градиентов и Rprop – предложена модификация алгоритма обучения развернутой динамической нейронной сети, позволяющая существенно повысить точность получаемых результатов.

3. Программный комплекс решает задачу неинвазивной электрокардиографии эффективнее известных аналогов: выделение R-зубцов плода происходит на 20% точнее; среднеквадратичная ошибка частоты сердечных сокращений ниже в среднем на 118 (ударов в мин.)²; корень среднеквадратичной ошибки RR-интервалов ниже в среднем на 5 мс – новый программный комплекс, имеющий отличия на уровне структуры, что позволило автоматизировать процесс разделения источников абдоминальной электрокардиограммы с существенно более высокой точностью результатов по сравнению с аналогами.

Оценка достоверности получаемых результатов

Достоверность получаемых результатов подтверждается сравнением с эталонным ручным разделением источников сигнала, корректным применением методов исследований, результатами практического использования разработанного программного комплекса, что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

Значимость результатов работы

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в модификации метода обучения параллельно развернутой динамической нейронной сети, что позволило обеспечить качественно более высокую точность ее настройки в процессе обучения.

Практическая значимость работы заключается в автоматизации процесса разделения источников абдоминальной электрокардиограммы, что позволяет сократить участие врача-специалиста в выполнении рутинной работы и сосредоточиться непосредственно на процедуре диагностики (что, впрочем, не освобождает его от необходимости контроля получаемых сигналов).

Автореферат диссертации

Автореферат соответствует основным положениям диссертации и правильно их отражает. Основные результаты, представленные в диссертации Девятовых Д.В., опубликованы в 14 изданиях, из них 5 в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, 4 в журналах и сборниках, индексируемых Scopus и Web of Science, что говорит о представлении работы

на международном уровне, получены 2 свидетельства о регистрации программного продукта.

Текст диссертации

Диссертация выполнена на хорошем научном и методическом уровне, написана ясно и грамотно. Общепринятая в научных кругах терминология используется корректно. В целом работа оформлена аккуратно, ошибки в изложении, принципиально затрудняющие общее восприятие текста отсутствуют (хотя, отдельные неточности встречаются).

Замечания по диссертации:

1. из текста диссертации непонятна структура обучающего и тестового набора – имелись ли сигналы, содержащие аномальные участки, связанные, например, с наличием заболеванием сердца у матери или плода;
2. имеются замечания по проводимой статистической обработке получаемых результатов, например, рисунок 44 – непонятен выбор 22 интервалов (а гистограмма частот строится по интервальному ряду, так что это явно он), что явно и существенно противоречит критерию Стерджесса (который в данной ситуации рекомендует 8 интервалов). Из-за этого нормальный характер представленного распределения является как минимум неочевидным;
3. при подборе параметров нейронной сети во многих случаях выбран шаг между проверяемыми значениями равный 5, что не совсем понятно, особенно учитывая их небольшую величину – почему бы не перебрать больше (или даже все) вариантов?
4. При проведении аналитического обзора при анализе количества публикаций размер последнего интервала, соответствующего нашему времени, равен порядка 16 годам, тогда как в остальных случаях 10 годам, что не позволяет говорить о явном росте количества публикаций (есть возможность, что он был в районе 2010 года, а сейчас уже наблюдается спад);
5. имеются замечания по пунктуации, например, стр. 7, 49 и др.

Указанные замечания не оказывают влияния на достоверность и не снижают значимости полученных Девятых Д.В. результатов. Диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, в которой решена важная научно-практическая задача – разработана модель и метод разделения источников кардиосигнала при проведении диагностики плода. Диссертационная работа «Модель, алгоритмы и комплекс программ для неинвазивной фетальной электрокардиографии» удовлетворяет требованиям

