

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу В.Д. Омпокова «Частотно-временной анализ пульсовых сигналов с помощью преобразования Гильберта-Хуанга», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиофизика

Диссертационная работа В.Д. Омпокова посвящена разработке новых методов цифровой обработки нестационарных сигналов и исследованию эффективности применения разработанных методов в задачах анализа биомедицинских данных. **Актуальность** исследований в этом направлении определяется необходимостью создания новых, более эффективных, чем имеющиеся, методов анализа структуры сигналов, которые могли бы применяться для изучения нестационарных процессов в динамике, и востребованностью этих методов для решения научных и практических задач радиофизики, геофизики, биомедицины и в других областях знаний. Поставленная в диссертации задача исследования возможностей преобразования Гильберта-Хуанга как инструмента декомпозиции биомедицинских сигналов в целях выделения физиологически значимых для медицинского диагностирования частотно-временных характеристик пульсовых сигналов в полной мере отвечает этому **актуальному** направлению. Предложенная в работе методология определения характеристик пульсового сигнала расширяет перечень пульсовых параметров, используемых для диагностики, что позволяет повысить качество расшифровки биомедицинских данных и достоверность медицинских заключений.

Диссертация изложена на 106 страницах машинописного текста, иллюстрируется 52 рисунками и графиками, и состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы из 132 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цель и основные задачи работы, оценивается научная новизна и практическая значимость результатов, их достоверность, формулируются научные положения и результаты, выносимые на защиту, характеризуется личный вклад автора.

В первой главе дается аналитический обзор литературных источников по методам анализа нестационарных сигналов. Автор полно и подробно излагает суть известных методов и подходов, использующихся при анализе нестационарных сигналов в настоящее время, характеризует их достоинства и недостатки. Делает вывод, что из всех рассмотренных методов наилучшие перспективы для решения биомедицинских задач имеет преобразование Гильберта-Хуанга, широко применяемое в последние годы для анализа временных рядов, характеризующих нестационарные процессы различной природы. На основе проведенного обзора формулируются цель и задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена методологическим аспектам работы. В начале главы на примере модельных гармонических сигналов подробно рассматривается преобразование Гильберта-Хуанга и доказывается,

что его использование позволяет визуализировать изменения во времени спектральных компонент сложных многочастотных сигналов. Анализируется погрешность модовой декомпозиции спектральных компонент при использовании преобразования Гильберта-Хуанга для анализа сигналов, близких по структуре к пульсовым, в условиях зашумленности. На примере аддитивного белого гауссова шума показано, что погрешность декомпозиции имеет нелинейную зависимость от уровня шума. Делается вывод, что нелинейность зависимости погрешности от мощности шума вызывается эффектами смещения и частотной интерференции мод. Для минимизации влияния указанных эффектов на точность декомпозиции автор предлагает модифицированный алгоритм эмпирической модовой декомпозиции с полосовой частотной фильтрацией Фурье-спектра анализируемого сигнала. Демонстрируется эффективность предложенного алгоритма. Результаты, представленные во второй главе, являются основой для первого и второго научных положений, вынесенных на защиту.

В третьей главе представлены результаты частотно-временного анализа реальных пульсовых сигналов с использованием разработанного автором модифицированного преобразования Гильберта-Хуанга с частотной фильтрацией Фурье-спектра сигнала. Проводится анализ пульсовых сигналов трёх представительных групп пациентов общей численностью 76 человек. Показано, что результаты анализа пульсовых сигналов с использованием модифицированного преобразования Гильберта-Хуанга и применяемого в клинических условиях метода анализа вариабельности сердечного ритма совпадают с высокой точностью. Результаты главы составляют содержание третьего защищаемого положения.

В заключении перечислены основные научные результаты, полученные в диссертационной работе.

Автореферат полно отражает основные результаты диссертации.

Новизна полученных в диссертации результатов заключается, прежде всего, в том, что предложен новый алгоритм цифровой обработки нестационарных сигналов, включающий, как элемент преобразования Гильберта-Хуанга, данные о Фурье-спектре анализируемого сигнала. На основе предложенного подхода создан новый метод анализа пульсовых сигналов, позволяющий осуществлять декомпозицию пульсового сигнала с погрешностью в три-пять раз меньшей, чем при использовании классического алгоритма эмпирической модовой декомпозиции и метода множественной декомпозиции. С использованием созданного метода впервые выявлены особенности частотно-временной структуры пульсовых сигналов, позволяющие осуществлять их классификацию.

Достоверность научных положений и выводов диссертации подтверждается совпадением в частных случаях результатов проведённых диссертантом численных расчетов с результатами, полученными другими методами, низкими значениями рассчитанных оценок погрешностей разработанных методов. Результаты частотно-временного анализа пульсовых данных участвовавших в экспериментах пациентов с использованием разработанного автором модифицированного преобразования Гильберта-Хуанга, хорошо согласуются с современными представлениями о функционировании сердечно-сосудистой системы человека и результатами обработки этих данных мето-

дом математического анализа variability сердечного ритма, используемым в клинической медицине. Обоснованность статистических выводов обеспечивается значительным объемом выборок пульсовых сигналов, полученных в разных группах пациентов численностью в несколько десятков человек каждая.

Научная и практическая значимость результатов исследования заключается в том, что разработанный в диссертации модифицированный метод преобразования Гильберта-Хуанга с частотной фильтрацией Фурье-спектра сигнала может использоваться не только для цифрового анализа биомедицинских данных, но и для исследования квазипериодических сигналов другого происхождения. Метод и созданные при его реализации алгоритмы цифровой обработки пульсовых сигналов значительно расширяют функциональные возможности автоматизированного пульсодиагностического комплекса, созданного в Институте физического материаловедения СО РАН, в части получения частотно-временных характеристик пульсовых сигналов. Предложенная в диссертации методика классификации пульсовых сигналов на основе их частотно-временной структуры может использоваться в медицинской практике для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы человека.

Защищаемые положения, выводы и рекомендации диссертации представляются обоснованными. Достоверность защищаемых положений не вызывает сомнений, однако формулировки положений и представление экспериментальных результатов диссертации страдают недостаточной конкретностью. В связи с этим возникают следующие замечания.

1. В чём причина, что модифицированный метод преобразования Гильберта-Хуанга позволяет не только существенно уменьшить погрешность модовой декомпозиции по сравнению с методами классической и множественной декомпозиции, но и добиться практически независимости этой погрешности от уровня шума? Является ли это следствием того, что используется модель белого шума, или погрешность ведёт себя также при небелом шуме? Почему при анализе не используется параметр «отношение сигнал/шум», как это принято при анализе сигналов? Иными словами, насколько широк класс сигналов и шумов, при анализе которых применение модифицированного преобразования является более эффективным, чем использование других методов?
2. При анализе экспериментальных пульсовых данных в третьей главе не приводятся сведения о месте, дате и продолжительности проведения экспериментов.

Есть замечания по тексту диссертации.

1. Формулировки защищаемых положений приведены лишь во введении и оторваны от основного текста. Более логичным было бы «подвести» к ним в основном тексте, сформулировав как следствия полученных результатов и доказательств.
2. Диссертация написана хорошим понятным языком, с чётким и ясным изложением всех аспектов проведённых исследований. В оформлении есть погрешности. Так, например, в

первой главе два подраздела обозначены под одним номером 1.3.2. Имеется путаница в нумерации рисунков, используется трёхзначная и четырёхзначная нумерация, например, 1.3.1-1.3.3 и 1.3.2.1-1.3.2.3. Два разных рисунка имеют один и тот же номер 1.3.2.1. Во второй главе нумерация рисунков начинается с номера 2.1.2. Допущена описка в обозначениях в одной из формул на стр. 42 диссертации. В автореферате неправильно указано число иллюстраций в диссертации. Список может быть продолжен.

Перечисленные замечания не затрагивают принципиальные положения и выводы диссертационной работы и не влияют на общую положительную оценку проведённых в диссертации исследований. Диссертационная работа В.Д.Омпокова представляет собой целенаправленное, хорошо продуманное и законченное на определенном этапе исследование, выполненное на высоком научном уровне. Автор диссертации владеет самыми современными методами цифрового анализа сигналов, в том числе и нестационарных. Им разработаны и реализованы компьютерные алгоритмы анализа пульсовых сигналов на основе различного типа интегральных преобразований, что требует высокой квалификации в области программирования. Полученные в диссертации результаты опубликованы в рецензируемых журналах из списка ВАК России и в трудах международных и всероссийских конференций. Имеются все основания заключить, что автор диссертации вполне сложившийся ученый в области обработки и анализа радиофизических сигналов.

Считаю, что диссертационная работа В.Д.Омпокова **полностью соответствует требованиям** «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её **автор Вячеслав Дамдинович Омпов заслуживает** присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03-радиофизика.

Главный научный сотрудник
федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева
Сибирского отделения Российской академии наук,
доктор физико-математических наук
(01.04.03 - Радиофизика)

В. А. Баных

18.11.2019

Подпись Виктора Арсентьевича Баныха заверяю:

Учёный секретарь ИОА СО РАН



О.В. Тихомирова

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева» Сибирского отделения Российской академии наук
634021, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева 1, (3822) 492738, <http://www.iao.ru>