

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Пономаревой Натальи Владимировны
«Компьютерная спектральная обработка сигналов в музыкальной акустике на
основе параметрического дискретного преобразования Фурье»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка
информации (в науке и технике)»

Актуальность темы диссертации

В диссертации Пономаревой Н.В. решается важная и актуальная научная задача по разработке новых и совершенствованию существующих методов и алгоритмов компьютерной спектральной обработки сигналов в музыкальной акустике на основе параметрического дискретного преобразования Фурье.

Компьютерная спектральная обработка сигналов (*Digital Spectral Signal Processing*) играет важнейшую роль в компьютерных музыкальных технологиях (*Music Technology – MT*), научные и практические аспекты которых прорабатываются в музыкальной акустике. Интенсивные исследования в данном научном направлении активно ведутся как у нас в стране, так и за рубежом, при этом решение основных задач обработки музыкально-акустических сигналов (МАС) – определение высоты тона и тембра, которые позволяют судить о мелодии, гармонии, звучащем голосе и инструменте, – связано именно с компьютерной спектральной обработкой МАС.

Автором диссертационного исследования на основе системного анализа показано широкое использование классических методов компьютерной спектральной обработки, основанных на дискретном преобразовании Фурье (ДПФ) (*Discrete Fourier Transform – DFT*). Проанализированы принципиальные недостатки существующих методов, вытекающие из особенностей дискретного преобразования Фурье и проявляющиеся в виде нежелательных эффектов наложения, частотола, утечки и гребешкового эффекта, затрудняющих обработку МАС в музыкальной акустике из-за несовпадения частот музыкальных звуков и их обертонов с частотами, получаемыми в результате применения ДПФ.



Существующие методы и алгоритмы борьбы с этими эффектами такие, например, как взвешивание исходных последовательностей временными, частотными и корреляционными окнами, дополнение исходных последовательностей нулевыми отсчетами были направлены, прежде всего, на борьбу со следствиями проявления этих негативных эффектов (а не с причинами эффектов).

В диссертационной работе Пономаревой Ольги Владимировны «Развитие теории и разработка методов и алгоритмов цифровой обработки информационных сигналов в параметрических базисах Фурье» – Ижевск, 2016 г. предложено множество полных, ортогональных, параметрических экспоненциальных базисных систем и разработанное на их основе обобщение дискретного преобразования Фурье в виде параметрического дискретного преобразования Фурье (ДПФ-П). Данное преобразование существенно расширило функциональные возможности классических методов спектральной обработки, сохранив при этом возможность наглядной физической интерпретации и толкования получаемых результатов.

Предложенные базисные системы и разработанное на их основе параметрическое дискретное преобразование Фурье применимы к сигналам в различных предметных областях, в том числе и к сигналам в музыкальной акустике. Однако примеры разработанных на его основе методов и алгоритмов, учитывающих специфику МАС и решаемых задач в музыкальной акустике в настоящее время единичны.

В связи с изложенным, представляется важным, актуальным и своевременным предложение автора диссертации о применении для решения проблем компьютерной спектральной обработки сигналов в музыкальной акустике параметрического ДПФ (ДПФ-П).

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе

В диссертации автором достаточно полно проведено обоснование необходимости применения параметрического ДПФ для достижения цели диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, подтверждена строгими математическими доказательствами свойств разработанных методов и алгоритмов компьютерной спектральной обработки МАС и осуществимостью быстрых процедур их реализации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается также и уровнем используемых автором методов исследований. При решении поставленных в диссертационной работе задач использовались методы теории цифровой обработки сигналов, теории цифрового векторного и спектрального анализа, теории музыкальных форм, теории музыкальной акустики, теории матриц, теории вероятностей, теории математического моделирования, теории дискретного преобразования Фурье, теории дискретного параметрического преобразования Фурье.

При расчетах и моделировании использовались программная среда проектирования инженерных приложений MATLAB (*Matrix Laboratory*) и программа для профессиональной работы со звуком и звуковыми файлами – *Adobe Audition CS6*.

Полученные научные и практические результаты подтверждаются также их представительным обсуждением в научных изданиях и выступлениях на международных и всероссийских научных конференциях, а также внедрением полученных в диссертации научно-технических решений.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе

Все научные положения, выводы и рекомендации диссертационного исследования Пономаревой Н.В. обладают необходимой степенью достоверности и новизны.

Следующие научные результаты следует выделить как новые и существенные.

- Метод локализации спектральных пиков, позволяющий анализировать частоты между частотами стандартного ДПФ без алгоритмических ограничений на шаг анализа и с меньшими

вычислительными затратами, чем известная операция дополнения нулями.

- Метод компьютерной спектральной обработки в заданном диапазоне частот, позволяющий находить коэффициенты стандартного ДПФ в заданном диапазоне частот путем вычисления нескольких ДПФ-П меньшего размера, с возможностью быстрого нахождения коэффициентов в других диапазонах без повторных вычислений ДПФ-П.
- Метод получения прореженных коэффициентов ДПФ путем обобщения на основе ДПФ-П известного метода взвешенного наложения-сложения с целью устранения главного недостатка этого метода – невозможности сдвига по частоте фильтров ДПФ проектируемого анализатора спектра.
- Метод расширения функциональных возможностей цифровой фильтрации на основе частотной выборки, позволяющий анализировать частоты между частотами стандартного ДПФ, а также уменьшать погрешности измерений, возникающие из-за шума округления, за счет варьирования дополнительно введенного параметра.
- Быстрый алгоритм вычисления дискретного преобразования Гильберта музыкально-акустических сигналов, позволяющий в два раза уменьшить объем используемой памяти и сократить вычислительные затраты за счет вычисления двух ДПФ в два раза меньшего размера.
- Быстрый алгоритм вычисления скользящего спектра Фурье музыкально-акустических сигналов на основе ДПФ-П, позволяющий анализировать частоты между коэффициентами стандартного ДПФ и делать это за один такт дискретизации, что невозможно при использовании уже известных методов и алгоритмов на основе ДПФ-П, в том числе при использовании БПФ-П.
- Обобщение понятия линейной инверсии дискретного времени для базисов ДПФ-П, которое позволяет осуществлять в компьютере

фильтрацию музыкально-акустических сигналов методом блочной обработки на основе ДПФ-П с нулевым сдвигом фаз.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 141 источника и трех приложений, которые содержат результаты обработки тестовых музыкально-акустических сигналов, результаты исследования обобщенного семейства трапецеидальных окон и копии актов о внедрении результатов диссертационной работы. Общий объем работы 187 страниц, включая 107 рисунков и 10 таблиц.

По материалам диссертационного исследования опубликовано 35 печатных работ, из них 1 статья в журнале, входящем в международную реферативную базу данных и систему цитирования *Scopus*, 4 статьи в журналах, составляющих ядро коллекции Российского индекса научного цитирования *Science Index* (РИНЦ), которое размещено на платформе *Web of Science* как *Russian Science Citation Index* (RSCI), 5 статей опубликованы в зарубежных научных изданиях; 10 статей в журналах, входящих в перечень ВАК РФ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 6 научных работ выполнены соискателем лично, остальные в соавторстве.

Практическая значимость и полезность научных и прикладных результатов, полученных в диссертации

Практическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в том, что предложенные методы и алгоритмы компьютерной спектральной обработки сигналов в музыкальной акустике на основе параметрического дискретного преобразования Фурье эффективно, с получением обладающих новизной результатов:

- использовались при выполнении НИР по Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по теме «Принципы контроля оптических сред в биологии и экологии с использованием методов обработки результатов измерений на основе квантификационных моделей»;

- внедрены в учебном процессе в ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» на кафедрах: «Радиотехника», «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики»:
 - для студентов направления 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»,
 - для студентов направления 12.03.01 «Приборостроение» специальности «Приборы и методы контроля качества и диагностики»,
 - для магистрантов по программам подготовки 12.04.01–1 «Приборы, системы и изделия биомедицинского назначения»;
- входят в ядро систем компьютерной обработки сигналов в музыкальной акустике, а также могут быть применены в системах компьютерной обработки виброакустических, речевых, биомедицинских, гидроакустических и многих других сигналов, имеющих структуру аналогичную сигналам в музыкальной акустике.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации доказано (формулы (3.5), (3.6)), что ДПФ позволяет получить энергетический спектр МАС с частотой дискретизации в два раза меньшей, чем требуется при каноническом разложении Пугачева. Есть в диссертации и упоминание (стр. 108) о том, что получение более детальной информации о спектре исходного МАС, с помощью ДПФ-П позволяет избежать проявления эффекта наложения в кепстральной области. Однако, автор, к сожалению, не уделил должного внимания этому принципиально важному результату для определения основного тона МАС.
2. В диссертационной работе при разработке методов и алгоритмов компьютерной спектральной обработки МАС широко используется операция – отношение сравнимости по модулю (например, соотношения (2.16), (2.20), (2.23)). На мой взгляд, описание этой операции, обладающей свойствами рефлексивности,

симметричности и транзитивности, следовало бы вынести в приложение, что облегчило бы чтение основного материала диссертации и уменьшило бы ее объем.

3. На стр. 96 диссертации автор в отношении быстрого алгоритма измерения скользящего спектра Фурье музыкально-акустических сигналов отмечает следующее достоинство разработанного алгоритма – длительность временного окна при проведении скользящих измерений сигналов, в том числе и МАС, *не обязательно должна быть степенью двух*. Не совсем ясно, в чем же заключается это достоинство для компьютерной спектральной обработки МАС.
4. В тексте диссертационной работы редко, но встречаются неточности (см., например, страницу 42 диссертации, подпись к рисунку 1.11).

Однако отмеченные замечания не снижают теоретическую ценность и практическую значимость диссертационной работы Пономаревой Н.В.

Заключение

Диссертация Пономаревой Натальи Владимировны является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи разработки новых и совершенствование существующих методов и алгоритмов компьютерной спектральной обработки сигналов в музыкальной акустике на основе параметрического дискретного преобразования Фурье, имеющей большое значение для развития данной отрасли знаний.

Анализ содержания диссертации позволяет сделать вывод о достижении автором поставленной цели и решении основных и частных задач диссертационного исследования. Степень обоснованности, новизны научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационном исследовании, высокая, а их достоверность и новизна не вызывает сомнения.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации, в нем с достаточной полнотой изложены основные идеи и выводы диссертационной работы, степень новизны и практическая значимость результатов исследований.

