ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Ву Хоанг Шон на тему «Алгоритмы многоскоростной обработки речевых сигналов в радиотехнических системах передачи информации», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Актуальность работы и ее соответствие специальности

Разработка алгоритмов многоскоростной обработки речевых сигналов в условиях ограниченной пропускной способности радиотехнических каналов передачи информации представляет собой задачу, научная и прикладная значимость которой неуклонно возрастает. Тактические, аварийно-спасательные и спутниковые системы связи предъявляют жёсткие требования к эффективности использования канального ресурса, тогда как стандартные низкоскоростные кодеки демонстрируют существенную деградацию воспринимаемого качества речи при вероятности битовых ошибок свыше 1–2%.

Представление Хургина – Яковлева, как математически строгое обобщение теоремы В.А. Котельникова, предоставляет теоретически обоснованный инструмент снижения числа передаваемых отсчётов за счёт привлечения информации о производных сигнала. Тем не менее практическая реализация данного представления сталкивалась с принципиальным препятствием — неопределённостью фазочастотных характеристик синтезирующих фильтров. Устранение этого препятствия и интеграция представления с вейвлет-анализом и глобальной оптимизацией методом роя частиц формируют комплексный и оригинальный подход к многоскоростной обработке нестационарных речевых сигналов.

Диссертация полностью соответствует требованиям паспорта специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» (пункты 4, 6, 9).

Содержание диссертационной работы

Диссертационная работа Ву Хоанг Шон изложена на 185 страницах основного текста, содержит 41 рисунок, 11 таблиц и 4 приложения. Список использованной литературы насчитывает 134 наименования. Структура работы — введение, три главы с выводами, заключение, приложения — соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Во введении последовательно обоснована актуальность темы исследования, дана оценка степени её проработанности, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, определены объект и предмет исследования, раскрыты научная новизна, практическая значимость и методы исследования. Приведены сведения о личном участии автора, апробации результатов, публикациях и внедрении.

Первая глава посвящена теоретическим основам представления Хургина – Яковлева применительно к системам передачи речевых сигналов. Проведён анализ нестационарных свойств речи, обосновывающий преимущества многоканальной дискретизации с использованием производных. Ключевым результатом главы является оригинальная методика синтеза АЧХ и ФЧХ синтезирующих фильтров по критерию минимума СКО для K = 2, 3, 4 каналов с P = 1, 2, 3 этапами разложения. Обоснован выбор спектрального метода (на основе БПФ) как базового алгоритма вычисления производных, обеспечивающего НСКО = 1,8% — на 18% лучше полиномиального и на 44% лучше метода конечных разностей. Экспериментально подтверждена точность восстановления: не менее 45 дБ по критерию ОСШ для двухканальной конфигурации и не менее 14 дБ — для трёх- и четырёхканальных.

Вторая глава направлена на разработку и исследование алгоритмов первичного кодирования РС на основе представления Хургина – Яковлева с учётом ограничений реального канала связи. Установлена эквивалентность представления Хургина – Яковлева многоканальному банку фильтров анализа-синтеза, разработана полифазная структура и получены формулы для точного подсчёта числа операций. Аналитически обоснован выигрыш в помехоустойчивости при воздействии аддитивного белого гауссовского шума. Экспериментально исследована устойчивость к битовым ошибкам ($P_{ош}$ = 0,1–5%) применительно к кодекам MMBE (1,2 кбит/с), G.723.1 (6,3 кбит/с) и G.726 (24 кбит/с) на 50 речевых сигналах при 100 независимых испытаниях. Получен ключевой практический результат: повышение оценки качества по шкале MOS на величину до 2,2 балла при вероятности ошибок до 5% без увеличения скорости передачи.

Третья глава представляет интегрированную систему, объединяющую представление Хургина – Яковлева, дискретное вейвлет-преобразование и оптимизацию методом роя частиц PSO. Разработан метод покадрового дискретного вейвлет-преобразования с энергетическим критерием порогового

сжатия; экспериментально обоснован выбор вейвлета db4 при $J = 4$ уровнях разложения как оптимального для речевых сигналов базиса. Задача оптимизации вектора уровневых порогов сформулирована как задача нелинейного программирования с негладкой целевой функцией и решена методом роя частиц PSO; достигнутый коэффициент сжатия 87% превышает классические методы на 7,1 – 14%. Экспериментально доказан выигрыш интегрированной системы по метрике ViSQOL до 0,9 балла по шкале MOS; показан синергетический эффект при работе в условиях ошибочного канала. Проведён анализ вычислительной сложности и даны рекомендации по реализации на платформах TMS320C6748, ADSP-21569, Zynq-7020 и Cortex-M55.

В заключении систематизированы основные научные и практические результаты, полученные в диссертации.

Научная новизна

- Впервые разработана полная методика синтеза синтезирующих фильтров для многоканального представления Хургина – Яковлева при $K = 2, 3, 4$, устраняющая неопределённость ФЧХ и гарантирующая точное восстановление речевых сигналов. Установленная эквивалентность данного представления многоканальному банку фильтров с полифазной структурой и аналитическими оценками вычислительной сложности является самостоятельным теоретическим результатом.

- Предложен и обоснован оригинальный метод адаптивной оптимизации энергетических порогов дискретного вейвлет-преобразования на основе алгоритма роя частиц PSO, принципиально отличающийся от известных подходов раздельным управлением степенью сжатия в каждой подполосе и применением глобального метаэвристического оптимизатора, работающего с негладкой многоэкстремальной целевой функцией.

- Разработана интегрированная система первичного кодирования речи в которой синергетическое взаимодействие блока обработки сигналов на основе представления Хургина – Яковлева, и блока совместного применения дискретного вейвлет-преобразования с оптимизацией методом роя частиц приводит к повышению качества, превышающему аддитивную сумму вкладов каждого отдельного компонента, особенно в условиях работы канала связи с ошибками передачи.

Практическая значимость и достоверность результатов диссертации

Практическая значимость работы обусловлена направленностью разработанных алгоритмов на решение конкретной прикладной задачи — повышения качества низкоскоростной передачи речи в радиотехнических

системах — и подтверждается актами о внедрении результатов в учебный процесс РГРТУ, а также в деятельность ПАО «МТС» (г. Рязань) и ООО «FPT Telecom» (Вьетнам).

Достоверность результатов диссертации обеспечивается: строгостью математического аппарата при разработке модели синтезирующих фильтров; верификацией аналитических оценок помехоустойчивости результатами имитационного моделирования; экспериментальной проверкой алгоритмов на реальных речевых сигналах с применением стандартизированных метрик качества (SNR, ViSQOL).

Замечания по диссертации

1. Экспериментальная база диссертации сформирована на 100 речевых сигналах. Для задач радиотехнических систем передачи информации с разнообразными условиями эксплуатации данный объём является минимально достаточным. Расширение корпуса за счёт стандартизированных баз данных с контролируемым разнообразием дикторов и акустических условий сделало бы статистические выводы о помехоустойчивости более строго обоснованными.

2. В диссертации не поясняется причина выбора конфигурации $K = 2$, $P = 1$ для интегрированной системы третьей главы, тогда как вторая глава демонстрирует максимальный выигрыш ΔQ при $K = 4$, $P = 3$. Отсутствие этого обоснования затрудняет понимание логики построения интегрированной системы.

3. В тексте диссертации нижний порог качества $Q_2^{min} = 3{,}5$ балла по метрике ViSQOL принят как ограничение задачи оптимизации без явной ссылки на нормативный источник. Желательно явно указать, из какого стандарта или требований к системам связи данное значение заимствовано.

4. В разделе практических рекомендаций (глава 3) оценка вычислительной сложности приведена для четырёх платформ, однако вопрос о задержке обработки при работе алгоритма роя частиц PSO не рассматривается. Для систем реального времени оценка латентности является существенным параметром наряду со сложностью.

Заключение

Изложенные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа Ву Хоанг Шон является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача разработки алгоритмов многоскоростной обработки речевых сигналов в радиотехнических

системах передачи информации. Полученные результаты обладают очевидной научной новизной, подкреплены строгим математическим аппаратом и экспериментальными данными, имеют практическую значимость, подтверждённую актами о внедрении.

Диссертационная работа Ву Хоанг Шон соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор — Ву Хоанг Шон — заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент:
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой электроники и
микропроцессорной техники филиала ФГБОУ
ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

« 05 » 11 2026 г. Якименко Игорь Владимирович

Филиал федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске;
214013, Россия, г. Смоленск, Энергетический проезд, дом 1;
Приемная директора: mail@sbmpei.ru, +7(4812)65-14-61, +7(4812)38-11-38.

Подпись д.т.н., профессора Якименко Игорь Владимирович заверяю.

Секретарь ученого совета
филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
д-р экон. наук, доцент

« 06 » 11 2026 г. Кириллова Елена Александровна

с отзывом ознакомлен
09.11.2026