

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Титова Константина Дмитриевича «Синтез и анализ алгоритмов обработки сверхширокополосных квазирадиосигналов с неизвестной длительностью», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика»

Создание устойчивых энергетически скрытых каналов связи в условиях воздействия преднамеренных помех является первостепенной задачей для систем связи и передачи данных военного назначения. Именно по этой причине агентством DARPA Министерства обороны США были инициированы разработки помехоустойчивых радиосредств, использующих новые принципы создания радиоканала с высокой энергетической скрытностью на порядки выше, чем у цифровых средств связи, использующих технологии расширения спектра. Для этих целей используются импульсные сверхширокополосные сигналы.

В 2014 году в ФГБУ «16 ЦНИИИ» Минобороны России было проведено совещание по вопросам внедрения цифровой высокоэффективной системы скрытой сверхширокополосной радиосвязи для управления подразделениями в тактическом звене управления. В ходе проведения совещания было принято решение о признании систем радиосвязи с применением сверхширокополосных сигналов перспективным направлением развития технологии и целесообразности дальнейшего выполнения научно-исследовательских работ по данной теме.

Поставленные и решенные автором в диссертационной работе задачи являются **актуальными** и представляют научный интерес, поскольку они являются фундаментальной основой к реализации поставленных Министерством обороны задач.

В диссертационной работе синтезированы алгоритмы обработки сверхширокополосных квазирадиосигналов с неизвестной длительностью. Структура работы включает в себя три логически связанные главы, введение, в котором формулируется постановка задачи и дается обоснование их актуальности, и заключение. Стоит отметить, что каждая из глав является полноценным и законченным исследованием, а собранные вместе под единой постановкой задачи, они являются завершенным научно-техническим трудом.

В первой главе приведены результаты исследования автором задачи обнаружения сверхширокополосного квазирадиосигнала с тремя неизвестными параметрами - амплитудой, начальной фазой и длительностью. Синтезированы структуры алгоритмов обнаружения сверхширокополосного квазирадиосигнала с неизвестными амплитудой, фазой и длительностью на фоне белого гауссовского шума в зависимости от степени априорной неопределенности. Квазиправдоподобные алгоритмы обнаружения предполагают использование вместо неизвестных параметров их некоторых

ожидаемых значений. При этом решающая статистика представляет собой либо случайную величину, либо случайный процесс, формируемый для всех возможных значений неизвестной длительности. Максимально правдоподобный алгоритм обнаружения требует максимизации решающей статистики по всем неизвестным параметрам. Квазиоптимальный обнаружитель является оптимальным для узкополосного радиосигнала и не учитывает нарушения условия относительной узкополосности. В работе получены точные и асимптотически точные выражения для характеристик обнаружения синтезированных детекторов (вероятностей ложной тревоги и пропуска сигнала). Если решающая статистика представляет собой случайную величину, то для нахождения вероятностей ошибок требуется знать её статистические характеристики. При адаптации обнаружителя по длительности получение выражений для вероятностей ошибок требуется искать вероятность недостижения границ случайным процессом. По результатам проведенного статистического моделирования проверена работоспособность синтезированных алгоритмов и установлены границы применимости полученных аналитически асимптотических выражений для характеристик эффективности. Проведён сравнительный анализ синтезированных алгоритмов.

Вторая глава посвящена задаче оценки амплитуды сверхширокополосного квазирадиосигнала с неизвестными начальной фазой и длительностью на фоне белого гауссовского шума. Синтезированы квази правдоподобные и максимально правдоподобные алгоритмы оценки амплитуды сверхширокополосного квазирадиосигнала, отличающиеся способом преодоления априорной параметрической неопределённости. Найдены характеристики эффективности синтезированных алгоритмов. С помощью статистического моделирования проверена работоспособность синтезированного алгоритма и определена область применимости асимптотических выражений для характеристик эффективности. Найдены их характеристики (условные смещение, дисперсия и рассеяние).

Третья глава в целом решает аналогичный второй главе спектр задач, но уже для оценки длительности сверхширокополосного квазирадиосигнала с неизвестными амплитудой и начальной фазой на фоне белого гауссовского шума. Полученные результаты позволяют определить влияние априорного незнания амплитуды и начальной фазы сверхширокополосного квазирадиосигнала на точность оценки его длительности и сделать обоснованный выбор алгоритма оценки длительности в зависимости от имеющейся априорной информации, а также в зависимости от требований, предъявляемых к точности оценки и степени простоты технической реализации алгоритма оценки.

Основные выводы диссертации обладают необходимой новизной, являются обоснованными и представляются полезными для теории и практических приложений.

Научная новизна проведенных в диссертации исследований заключается во впервые разработанных способах построения и структурных

схемах новых оптимальных и квазиоптимальных алгоритмов обнаружения и оценки параметров сверхширокополосного квазирадиосигнала с неизвестными амплитудой, начальной фазой и длительностью, что позволяет создавать устройства локации, связи, мониторинга и т.д., учитывающие отсутствие узкополосности. Впервые найдены выражения для характеристик обнаружения и оценки параметров синтезированных устройств. Исследовано влияние априорного незнания параметров сигнала на эффективность функционирования различных алгоритмов обработки сверхширокополосного квазирадиосигнала.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается корректным использованием методов теории проверки статистических гипотез, теории оценок параметров и метода локально-марковской аппроксимации. Результаты статистического моделирования также подтверждают справедливость полученных аналитических выражений.

Научная и практическая ценность проведенных в диссертации исследований заключается в развитии основополагающих способов обнаружения и оценки параметров сверхширокополосных квазирадиосигналов, которые являются наиболее широким понятием сигнала без наложения каких-либо дополнительных допущений и ограничений, таким образом синтезированные алгоритмы и аналитические выражения позволяют сравнивать эффективность обнаружителей и устройств оценки параметра для любых сигналов (сверхширокополосных, широкополосных, узкополосных радио- и видеосигналов). Часть работы посвященная анализу синтезированных алгоритмов является полноценной научно-исследовательской работой, позволяющей до этапа опытно-конструкторских работ, имея техническое задание на проектируемую аппаратуру, выбрать оптимальный алгоритм и структуру сигнала.

Основные результаты диссертационной работы обсуждались на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в рецензируемых научных журналах из перечня, рекомендованного ВАК. Ключевые результаты диссертационного исследования были внедрены в учебный процесс нескольких учебных заведений и использовались при проведении научно-исследовательских работ на предприятиях промышленности, что подтверждено соответствующими актами о реализации. Признание результатов работы на различных престижных конкурсах и конференциях лишний раз подтверждает высокую актуальность работы и личный вклад автора. Автореферат достаточно полно отражает материалы диссертации и соответствует ее содержанию.

Вместе с тем, диссертация Титова Константина Дмитриевича имеет несколько **недостатков**:

1. При анализе предполагается, что сигнал синхронизирован по задержке, что на практике невыполнимо.

2. В диссертации встречается ряд опечаток, например, в формуле 1.1.12 (стр. 22) вместо $Y^* - m_{x^*}$, должно быть $Y^* - m_{y^*}$. На рис. 1.13 (стр. 44) перепутаны обозначения параметров узкополосности $k=0.6$ и $k=0.8$.

3. На стр. 23 без предоставления выводов автор утверждает, что случайные величины Z^* и J^* не коррелированы, что учитывая формулу 1.1.19 описывающую коэффициент корреляции случайных величин X^* , Y^* и формулу 1.1.10 предоставляющую связь случайных величин Z^* и J^* со случайными величинами X^* , Y^* и учитывая наличие одной и той же случайной величины X^* в Z^* и J^* одновременно, вызывает трудность восприятия данного факта и хотелось бы получить разъяснения за счет чего коэффициент корреляции $R_{Z^*J^*}$ равен 0.

4. Для наглядности в параграфе 1.1 на рис. 1.5, 1.6, 1.9, 1.10 вероятность пропуска сверхширокополосного квазирадиосигнала следовало бы нормировать на вероятность пропуска узкополосного радиосигнала.

5. При расчёте кривых, иллюстрирующих эффективность работы алгоритмов обнаружения и оценки параметров сверхширокополосного квазирадиосигнала, истинное значение начальной фазы принималось равным нулю и его влияние на вероятности ошибок обнаружения и точность оценок параметров сигнала осталось неисследованным. Было бы целесообразно использовать безусловные характеристики алгоритмов обработки, не зависящие от истинного значения начальной фазы.

Вместе с тем, указанные недостатки не снижают общего положительного впечатления от материалов диссертации, ее научной и практической ценности.

Диссертация Титова Константина Дмитриевича «Синтез и анализ алгоритмов обработки сверхширокополосных квазирадиосигналов с неизвестной длительностью» удовлетворяет требованиям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», ее содержание соответствует специальности 01.04.03 – «Радиофизика», а Титов Константин Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:
доктор технических наук, профессор
главный инженер АО «ИРКОС»
129626, г. Москва,
Звездный бульвар, 21,
тел.: (495)6157302,
e-mail: info@ircos.ru

Ашихмин Александр Владимирович


24.05.2018

Подпись Ашихмина А.В. заверяю.
Генеральный директор АО «ИРКОС»

Рембовский Анатолий Маркович

