

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Липаткина Владислава Игоревича
«Повышение качества обнаружения широкополосного сигнала и точности
совместного оценивания его параметров в условиях частотной дисперсии
ионосферы Земли», на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства
телевидения»

Актуальность темы диссертационного исследования

Радиосвязь в декаметровом диапазоне активно используется в удалённых и труднодоступных регионах мира, а также остаётся одним из важнейших резервных видов связи.

Распространение сигнала в декаметровом диапазоне осуществляется за счет его отражения от ионосферы Земли. Ионосферный радиоканал является нестационарным, параметры которого изменяются во времени и зависят от частоты распространяющейся в нем электромагнитной волны. В связи с этим существенное внимание уделяется исследованию свойств ионосферы. Основным инструментом диагностики свойств ионосферы и определения параметров каналов связи являются ионозонды.

Покрытие широкого диапазона частот при зондировании малой мощностью осуществляется путем использования широкополосных ионозондов. Обнаружение и обработка сигналов ионозондов с шириной полосы частот, превышающей десятки кГц, существенно затрудняется из-за влияния эффекта частотной дисперсии в ионосферных радиоканалах. Компенсация дисперсионных искажений, которая требует предварительной оценки их параметров во время обнаружения сигнала ионозонда позволяет преодолеть или уменьшить негативное влияние дисперсионных искажений. Таким образом, наряду с оцениванием основных параметров обнаруживаемого сигнала

требуется дополнительное оценивание параметра дисперсионных искажений – наклона дисперсионной характеристики ионосферного канала.

В связи с вышеизложенным, **актуальность** и важность выполненного диссертационного исследования, направленного на повышение качества обнаружения широкополосного сигнала и точности совместного оценивания его параметров, таких как задержка распространения, смещение по частоте и начальная фаза, не вызывает сомнения.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В своём диссертационном исследовании автор обоснованно делает вывод о необходимости введения в задачу обнаружения сигнала с совместным оцениванием его параметров дополнительного параметра, а именно, наклона дисперсионной характеристики. Учет указанного параметра позволяет достичь поставленной цели, заключающейся в повышении качества обнаружения широкополосного сигнала и точности совместного оценивания его параметров в условиях частотной дисперсии ионосферы Земли.

Основными результатами проведенного исследования являются:

1. Алгоритм обнаружения сигнала с совместным оцениванием четырех его параметров: задержки, сдвига частоты, начальной фазы и наклона дисперсионной характеристики.
2. Аналитические выражения для вычисления дисперсии и корреляции оценок трех параметров сигнала (сдвига частоты, задержки и начальной фазы) при неоптимальном приеме, т.е. при отсутствии оценивания наклона дисперсионной характеристики и компенсации дисперсионных искажений.
3. Аналитические выражения для вычисления дисперсии и корреляции оценок четырех параметров сигнала (сдвига частоты, задержки, начальной фазы и наклона дисперсионной характеристики) при оптимальном приеме.
4. Аналитические выражения для расчета порога обнаружения по критерию Неймана-Пирсона для алгоритма обнаружения сигнала с совместным

оцениванием его параметров, учитывающие наличие четвертого оцениваемого параметра – наклона дисперсионной характеристики.

5. Вычислительно эффективный алгоритм обнаружения сигнала с совместным оцениванием его параметров в условиях широкополосного ионосферного канала.
6. Устройство совместного обнаружения сигналов и оценивания их параметров в условиях широкополосного ионосферного канала, построенное по вычислительно эффективной структуре на основе набора фильтров, согласованных с серией последовательностей и с оценкой частотного сдвига с использованием БПФ на базе графического процессора.

Исследование показателей точности оценивания параметров широкополосного сигнала, искаженного частотной дисперсией ионосферного канала, показало, что учет влияния частотной дисперсии ионосферного канала (оценивание наклона дисперсионной характеристики) существенно повышает точность оценки остальных неизвестных параметров сигнала, например, при отношении сигнал/шум (ОСШ) 16 дБ СКО оценки задержки уменьшается примерно в 10 раз, СКО оценки частотного сдвига в 1.7 раза, СКО оценки фазы в 2.4 раза. Энергетический выигрыш при этом составляет порядка 20 дБ, 4.5 дБ и 7 дБ, соответственно, для каждого из рассматриваемых параметров.

Алгоритм обнаружения сигнала, подверженного дисперсионным искажениям, и оценивания частотного сдвига, задержки, начальной фазы и наклона дисперсионной характеристики снижает вероятность пропуска цели более чем в 100 раз для ОСШ выше 15 дБ, при этом энергетический выигрыш составляет порядка 2 дБ, по сравнению с алгоритмом, не учитывающим оценку наклона дисперсионной характеристики. Это говорит о том, что использование систем, не учитывающих частотную дисперсию (система оценивает и компенсирует только частотный сдвиг, задержку и начальную фазу) приведёт к существенному снижению вероятности правильного обнаружения.

Реализация устройства совместного обнаружения и оценивания задержки, частотного сдвига, начальной фазы и наклона ДХ с оценкой частотного сдвига с помощью БПФ на базе графического процессора позволяет выполнять совместное обнаружение и оценивание всех исследуемых в работе параметров сигнала в полосе до 400 кГц и длительностью до 2 с в масштабе реального времени. Вычислительная эффективность предложенного алгоритма и устройства подтверждается тем, что они обладают существенно меньшей вычислительной сложностью (в 10^5 раз) по сравнению со схемой классического построения устройства обнаружения с совместным оцениванием параметров через набор корреляторов.

Эффективность предложенных алгоритмов и устройства подтверждена экспериментальными исследованиями, которые были проведены автором на реальной радиотрассе. Эксперименты показали наличие предсказанной существенной корреляционной связи между оцениваемыми параметрами, в частности, между оценками начальной фазы сигнала и наклона дисперсионной характеристики.

При проведении исследований автор корректно использовал известные теоретические методы исследования, такие как методы цифровой обработки сигналов, теории статистической радиотехники, теории вероятностей и математической статистики, имитационного компьютерного моделирования.

Научная новизна

В диссертационной работе получены **новые** результаты, а именно:

1. Получены новые аналитические выражения для элементов матрицы Фишера в рамках задачи оценивания четырех параметров сигнала: начальной фазы, смещения частоты, задержки и наклона дисперсионной характеристики ионосферного канала; а также новые выражения для дисперсии соответствующих оценок, корреляционных функций и коэффициентов корреляции пар всех исследуемых оценок.

2. Выявлены новые закономерности в корреляционных связях между оценками параметров сигнала, в частности ненулевая корреляция между оценками задержки и частотного сдвига фазоманипулированного сигнала, возникающая из-за дисперсионных искажений, которая уменьшается с ростом длительности сигнала, и существенная корреляционная связь между оценками наклона дисперсионной характеристики ионосферного канала и начальной фазой сигнала.
3. Получены новые аналитические выражения, позволяющие вычислить среднеквадратическое отклонение оценок начальной фазы, смещения частоты, задержки в условиях наличия дисперсионных искажений и при отсутствии их компенсации, т.е. при неоптимальном приеме.
4. Получены новые аналитические выражения для расчета вероятностей ложной тревоги и пропуска цели в задаче обнаружения сигнала и совместного оценивания четырех его параметров, включая наклон дисперсионно характеристики.

Все вышеуказанные результаты получены автором лично.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в полученных автором новых аналитических выражениях, позволяющих рассчитать дисперсию оценок параметров широкополосного сигнала в условиях дисперсионных искажений, при наличии или отсутствии компенсации упомянутых искажений, а также выражения для вероятности ложной тревоги и пропуска цели при обнаружении упомянутого сигнала.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработанном вычислительно эффективном алгоритме и устройстве обнаружения сигнала с одновременным совместным оцениванием его параметров, которые были апробированы на модельных и натурных записях сигналов.

Достоверность результатов

Достоверность результатов, приведённых в диссертации, подтверждается непротиворечивостью, аргументированностью и доказательностью предложенных алгоритмов и моделей. Математический аппарат применяется в диссертации корректно, а результаты, полученные с помощью аналитических расчётов, теоретического анализа, имитационного моделирования и натурального эксперимента согласованы.

Материалы научной работы опубликованы в 14 печатных работах, из них 3 статьи в рецензируемых изданиях ВАК; 6 статей в изданиях, проиндексированных в базах данных Web of Science и SCOPUS (одна из которых в Q1), получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ в соавторстве; 1 работа опубликована в издании, проиндексированном в базе данных РИНЦ. Анализ трудов соискателя позволяет утверждать, что основные положения, выносимые на защиту, достаточно полно опубликованы. Основные результаты по теме диссертации докладывались на международных конференциях.

Замечания по диссертационной работе

1. Полученные автором аналитические выражения, отражающие качество обнаружения сигнала и точность оценивания его параметров, не учитывают многолучевое распространение сигнала.
2. В тексте диссертации не пояснено понятие симметричного фазоманипулированного сигнала.
3. При анализе предложенного автором устройства обнаружения широкополосного сигнала с одновременным совместным оцениванием начальной фазы, задержки, частотного сдвига сигнала и наклона дисперсионной характеристики канала рассматривается точность оценивания параметров, но не рассматриваются показатели качества обнаружения сигнала.
4. В тексте диссертации не приведено обоснование выбора аппаратной платформы для реализации устройства обнаружения-оценивания. Не ясно,

возможна ли реализация устройства в малогабаритном исполнении с применением систем на кристалле, включающие встроенные графические ядра.

5. Автор использовал модель канала, соответствующую однокачковым трассам средней протяженности с линейной аппроксимацией дисперсионной характеристики. Нелинейный характер дисперсионной характеристики, присущий коротким трассам, автором не рассматривался, что вызывает вопрос о том, насколько усложнится структура разработанного устройства в этом случае.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа Липаткина В.И. является законченной научно-исследовательской работой. Соискатель в своей работе показал необходимость оценивания наклона дисперсионной характеристики сигнала наряду с другими параметрами, такими как частотный сдвиг, задержка и начальная фаза, при его обнаружении в условиях широкополосного ионосферного канала. Предложил вычислительно эффективные алгоритм и устройство обнаружения сигналов и оценивания их параметров в условиях широкополосного ионосферного канала, которые позволяют повысить качество обнаружения широкополосного сигнала и точность совместного оценивания его параметров в условиях частотной дисперсии ионосферы Земли.

Автореферат отражает содержание диссертации и позволяет составить целостное представление о проделанном исследовании.

Содержание диссертации показывает, что автор способен сформулировать научную проблему и поставить научную задачу самостоятельно. Автор владеет методами научных исследований и правомерно применяет соответствующий математический аппарат. Можно утверждать, что полученные Липаткиным В.И. результаты достоверны, а также имеют высокую теоретическую и практическую значимость.

Замечания по диссертационной работе не снижают ценности научно-квалификационной работы.

Положения, выносимые на защиту достаточно полно опубликованы в рецензируемых изданиях и апробированы на научных конференциях.

Диссертационная работа Липаткина В.И. полностью отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 в актуальной редакции. Соискатель, Липаткин Владислав Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент



Рябова Н.В.

Рябова Наталья Владимировна

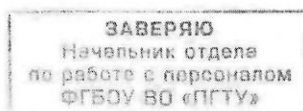
Доктор физико-математических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения», профессор, заведующий кафедрой радиотехники и связи Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный технологический университет» (ФГБОУ ВО «ПГТУ»).

Адрес: 424000, Россия, респ. Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3.

Тел.: +7 (8362) 68-28-67

E-mail: RyabovaNV@volgatech.net

Подпись Рябовой Н.В. заверяю:



Исакова С.А.

07. 02 2023