

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Либеровского Никиты Юрьевича,
выполненную на тему: «Разработка слепого алгоритма разделения радиосигналов в системах когнитивного радио» по специальности «2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» и представленную к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук

Актуальность темы диссертации

На современном этапе развития систем телекоммуникаций первостепенное значение приобрело оптимальное использование частотно-энергетического ресурса радиоканала при условии обеспечения требуемого качества обслуживания каждого абонента сети в заданных условиях помеховой обстановки и распространения радиоволн. Невозможно отрицать огромного влияния средств беспроводной связи на жизнь людей. Миллионы устройств каждый день передают различную информацию друг другу, и количество абонентов постоянно увеличивается. В таких условиях все чаще возникает ситуация, когда несколько абонентов мешают друг другу, занимая один и тот же участок спектра. Тем самым ухудшается помехоустойчивость связи, в частности, в системах связи когнитивного радио даже несмотря на использование методов ортогонального уплотнения сигналов, реализации протоколов широкополосного доступа в телекоммуникационных системах и т.д.

Для решения данной проблемы можно использовать такую активно развивающуюся научную область цифровой обработки сигналов, как слепое разделение сигналов. В отличие от классических методов оптимального приема сигналов, методы слепого разделения сигналов (СРС) позволяют разделить сигналы без знания априорной информации о характеристиках этих сигналов посредством оценки соответствующих смешивающих коэффициентов, используя только входные смеси сигналов. Тем самым данные методы более устойчивы к изменениям структуры сигналов и параметров принимающей аппаратуры.

Однако следует отметить, что методы СРС в настоящее время не используют алгоритмы, позволяющие получить аналитическое решение задачи разделения сигналов с использованием статистик входных сигналов за априори известное количество арифметических операций ввиду того, что такие алгоритмы отсутствуют. Таким образом, тема диссертации, посвящённой решению научной задачи по разработке новых алгоритмов разделения радиосигналов, обеспечивающих получение решения за конечное число операций, является актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

В ходе исследования автор диссертации провёл анализ методов разделения радиосигналов в системах когнитивного радио, включающих статистическое определение коэффициентов размещивающей матрицы, расчёт пространственно-поляризационных параметров, минимизацию разницы модуля оценки в алгоритме постоянного модуля, учёт ограничений по времени и частоте, а также использование информационных критериев. Особое внимание автор обоснованно уделил анализу групп методов СРС с использованием критерия декорреляции (раздел 1). Это позволило автору определиться с математической моделью смешивания исходных сигналов и с предположениями об исходных сигналах (требования статистической независимости). Для устранения неоднозначности относительно перестановок и мощности сигналов автор обоснованно предлагает использование перестановочно-масштабирующей матрицы, что позволит сохранить вид модели мгновенного смешивания сигналов (раздел 1).

На этапе разработки алгоритма слепого разделения двух комплексных сигналов автор обоснованно использовал характеристические и кумулянтные функции комплексных случайных величин (КСВ) и их линейного смешивания (раздел 2), так как значения смешанных кумулянтов можно использовать в качестве критерия разделения цифровых сигналов. Сам критерий представлен как система уравнений весовых коэффициентов. Для исключения тривиального решения этой системы дисперсии выходных КСВ приведены к единице, а уравнения приведения ковариации и кумулянта четвёртого порядка обоснованно приравнены к нулю для обеспечения условия независимости сигналов. Таким образом автор, решая предложенную систему уравнений, находит аналитические выражения для искомым весовых коэффициентов. Сделан обоснованный вывод о том, что КСВ с нормальным распределением, кумулянты высших порядков которых равны нулю, не могут быть разделены предложенным алгоритмом (раздел 2).

Для оценки эффективности разработанного алгоритма и при сравнении его с существующими методами СРС (раздел 3) обоснованно предложен критерий минимума вероятности битовой ошибки при заданном отношении сигнал/помеха (ОСП) и сигнал/шум (ОСШ). Разработанная компьютерная модель (Приложения А и Б), реализующая предложенный алгоритм СРС, показала его эффективность в аспекте снижения вычислительной сложности за счёт меньшего размера требуемой выборки (не менее 10^4 отсчётов) расчёта статистик для заданной вероятности битовой ошибки по сравнению с известным алгоритмом FastICA (раздел 3). Выигрыш составил не менее 3 раз. Предложенный алгоритм позволяет эффективно разделить линейные комбинации независимых сигналов при разнице в ОСП во входных сигналах не менее 1 дБ (раздел 3). В то же время эффективность алгоритма в условиях аддитивного шума оказалась не хуже алгоритма FastICA при фиксированном ОСП. Улучшение качества связи выявлено при ОСШ больше 16 дБ. Установлено (раздел 3), что при значении ОСШ, большем 30 дБ, и частоты

битовых ошибок, большей 10^{-4} , выигрыш в ОСП составляет не менее 12 дБ, что говорит о достижении цели исследования. Для сокращения времени расчёта начальных моментов входных сигналов, которые рассчитываются независимо, автор обосновано предложил параллельное выполнение необходимых вычислений (раздел 3).

Достоверность и новизна научных результатов

Достоверность полученных научных результатов подтверждается аргументированностью и доказательностью предложенных алгоритмов и моделей, корректностью применения математического аппарата и согласованностью результатов, полученных с помощью аналитических расчетов, теоретического анализа, имитационного моделирования.

Научная новизна защищаемых автором результатов состоит в следующем.

1. Полученное новое аналитическое выражение при решении задачи декорреляции двух комплексных сигналов за конечное число арифметических операций, основанное на системе уравнений второго порядка, приводящее дисперсии выходных сигналов к единице, а коэффициент ковариации к нулю, обеспечивает повышение помехоустойчивости систем когнитивного радио за счет разделения полезного сигнала и помехи.

2. Разработанный алгоритм слепого разделения двух комплексных сигналов, использующий в качестве критерия независимости сигналов кумулянты четвертого порядка, отличается от известных тем, что он выполняется за априори известное количество арифметических операций и приводит смешанный кумулянт четвертого порядка выходных сигналов к нулю за счет получения аналитического решения частного случая полиномиального уравнения четвертого порядка.

Теоретическая и практическая значимость диссертации

Теоретическая значимость диссертации заключается в разработке алгоритма СРС на основе новых математических выражений для решения задачи декорреляции сигналов и решения задачи сведения кумулянтов четвертого порядка к нулю аналитическим методом.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что обеспечивается повышение ОСП на выходе приемника при детектировании и дальнейшей обработке цифровых сигналов без дополнительной априорной информации.

Рекомендации по использованию научных результатов

Представленный в диссертационном исследовании алгоритм СРС целесообразно использовать в деятельности предприятий промышленности,

выполняющих проектирование и производство оборудования радиосвязи в интересах Минпроторга и Минцифры РФ, Вооружённых сил и спецслужб РФ.

Научные результаты работы полностью отражены в публикациях соискателя - опубликовано 14 научных работ, из которых 3 статьи в журналах из списка ВАК при Минобрнауки России, 8 работ проиндексированы в SCOPUS.

Замечания и недостатки в содержании и оформлении

Вместе с тем, наряду с отмеченными достоинствами, диссертация не лишена и определенных недостатков, в качестве которых необходимо отметить следующие:

1. В диссертации, к сожалению, рассмотрен лишь случай для корреляционного некогерентного детектирования ЧМн-2 сигнала, в то время как автор опубликовал результаты применения методов СРС для обнаружения сигналов и с фазовой манипуляцией (п. 23 Списка литературы).

2. В работе отсутствует описание предложенного алгоритма в виде блок-схемы, что затрудняет восприятие материала.

В качестве замечаний следует выделить – в тексте диссертации и автореферата присутствуют опечатки на 8 и 11 страницах соответственно.

Отмеченные недостатки и замечания не влияют на научную новизну и достоверность полученных результатов диссертации, не снижают ее теоретическую и практическую значимость.

В дальнейшей работе соискателю рекомендуется уделить внимание следующему перспективному направлению – расширение возможностей алгоритма СРС за счёт большего количества принимаемых сигналов.

Содержание автореферата соответствует основным положениям текста диссертации. В нём изложены все основные результаты, выносимые на защиту, дано достаточно полное представление об их теоретической и практической значимости. Работа написана грамотным научно-техническим языком, достаточно хорошо иллюстрирована.

Вывод

Диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи по разработке алгоритма слепого разделения комплексных сигналов за конечное количество вычислений с использованием кумулянтов высших порядков, имеющей важное народно-хозяйственное значение.

Диссертационная работа Либеровского Никиты Юрьевича «Разработка слепого алгоритма разделения радиосигналов в системах когнитивного радио» соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 в ред. от 20.03.2021 г., а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности «2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Профессор кафедры войсковой части 33965

доктор технических наук, доцент

(108811, г. Москва, ул. Бианки, д.12, к.2, кв. 119. Тел. 89037211261, sys1434@mail.ru)

«22» ноября 2022 г.

Ю.В. Зеленевский

Подпись профессора кафедры войсковой части 33965

доктора технических наук, доцента Зеленевского Юрия Владимировича
ЗАВЕРЯЮ.

Первый заместитель начальника службы кадров войсковой части 33965

«22» 4 2022 г.



И.А. Карпухин

15/19/2/5088