

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ОАО «Радиотехнический институт
имени академика А. Л. Минца»,
А. Б. Теппер
_____ 2016 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – Открытого акционерного общества «Радиотехнический институт имени академика А. Л. Минца» – на диссертацию Харина А. В. «Оценка числа сигналов с неизвестными параметрами», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Многие современные и перспективные системы радиолокации основаны на так называемых фазированных антенных решётках. При проектировании систем обработки сигналов в таких радиолокационных системах достаточно часто возникает потребность в решении задачи сверхразрешения. Эта задача заключается в статистическом анализе суммы нескольких различных сигналов с неизвестными параметрами, которые принял один элемент антенной решётки. Как правило, число сигналов в такой сумме оказывается априори неизвестным, так что возникает потребность в его оценке. Таким образом, задача оценки числа сигналов на фоне помех является важной частью задачи сверхразрешения. На практике решение задач сверхразрешения и, в частности, задачи оценки числа сигналов с неизвестными параметрами, существенно повышает технические возможности радиолокационной системы без дополнительных материальных вложений.

Таким образом, **является актуальной** задача оценки числа сигналов с неизвестными параметрами. Именно этой задаче и посвящена обсуждаемая диссертация. В ней излагаются результаты синтеза и анализа алгоритмов оценки числа сигналов с неизвестными параметрами. Тема диссертации соответствует специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Структура диссертационной работы включает в себя введение, три главы и заключение.

Во введении приводится подробный обзор литературы, отражающий как современное состояние исследований в области оценки числа сигналов и в смежных областях статистической радиофизики, так и связь известных результатов с постановками задач и исследованиями, которым посвящена диссертация. В тексте диссертации имеются необходимые ссылки как на известные факты и методы исследования, так и на публикации автора, в которых отражены излагаемые результаты.

В первой главе диссертации рассмотрено применение метода максимального правдоподобия для решения задач оценки числа сигналов. В ходе решения поставленных в первой главе задач синтезированы три максимально правдоподобных алгоритма. Введена новая характеристика качества функционирования алгоритмов оценки числа сигналов – укороченная вероятность ошибки. С помощью укороченной вероятности ошибки выполнен расчёт характеристик для каждого из трёх предложенных алгоритмов. Полученные результаты подтверждены статистическим моделированием исследованных алгоритмов. Показано, что укороченная вероятность ошибки даёт адекватное приближение к полной вероятности ошибки. Сформулированы выводы об эффективности полученных алгоритмов.

Во второй главе диссертационной работы исследуются задачи оценки числа сигналов с неизвестными энергетическими параметрами. Вторая глава начинается с вывода необходимых условий для возможности максимально правдоподобной оценки числа сигналов с неизвестными параметрами. Показано, что для оценки числа сигналов с неизвестными энергетическими параметрами необходимо модифицировать метод максимального правдоподобия. Далее во второй главе предлагаются к рассмотрению четыре модифицированных алгоритма максимального правдоподобия оценки числа сигналов: алгоритм с линейной штрафной функцией, алгоритм со случайной штрафной функцией, алгоритм с инвариантной случайной штрафной функцией и алгоритм с обратной штрафной функцией. С помощью каждого из этих алгоритмов решаются следующие задачи оценки числа сигналов: задача оценки числа сигналов с неизвестными амплитудами, задача оценки числа сигналов с неизвестными амплитудами и фазами, а также задача оценка числа сигналов с неизвестными амплитудами и неэнергетическими параметрами. Для каждой из поставленных задач проводится синтез четырёх предложенных модифицированных алгоритмов и вычисление их характеристик, а именно, укороченных вероятностей ошибки этих алгоритмов. При этом сформулированы и доказаны утверждения, позволяющие получить аналитические выражения для укороченных вероятностей ошибки модифицированных алгоритмов. С помощью аналитических формул для укороченных вероятностей ошибки проводится оптимизация параметров предложенных алгоритмов. Полученные результаты подтверждаются статистическим моделированием и подвергаются анализу.

Третья глава диссертации посвящена квазиправдоподобным алгоритмам оценки числа сигналов с частично неизвестными параметрами. В данной главе проведены синтез и анализ квазиправдоподобных алгоритмов оценки числа радиосигналов, а именно: квазиправдоподобного алгоритма оценки числа радиосигналов с неизвестными частотами, квазиправдоподобного алгоритма оценки числа радиосигналов с неизвестными амплитудами и фазами, а также квазиправдоподобного алгоритма оценки числа радиосигналов с неизвестными амплитудами,

фазами и частотами. Для этих алгоритмов выполнены исследования их характеристик и сравнение этих характеристик с характеристиками алгоритмов максимального правдоподобия и характеристиками модифицированных алгоритмов оценки числа сигналов.

Выводы и рекомендации, приведенные в диссертационной работе, относятся к выбору алгоритма оценки числа сигналов с неизвестными параметрами в зависимости от требований, предъявляемых к эффективности функционирования, а также в зависимости от характера априорной параметрической неопределённости и помеховой обстановки.

Диссертационная работа А. В. Харина представляет собой **цельное** законченное научное исследование и содержит новые интересные результаты в активно развивающейся области радиофизики – статистической радиофизики. Цели, поставленные во введении, в целом достигнуты. Диссертация изложена на достаточно высоком научном уровне, написана понятным языком, хорошо оформлена.

К числу основных новых результатов работы относятся следующие положения:

1. Впервые предложена и исследована новая характеристика качества функционирования алгоритмов оценки числа сигналов – укороченная вероятность ошибки.
2. Получены новые алгоритмы максимального правдоподобия для оценки числа детерминированных сигналов и для оценки числа сигналов с неизвестными фазами. Впервые получены и исследованы характеристики этих алгоритмов с использованием укороченной вероятности ошибки.
3. Впервые найдены условия, при которых невозможно оценить число сигналов с помощью метода максимального правдоподобия. Путём модификации максимально правдоподобного алгоритма синтезированы два новых алгоритма оценки числа сигналов с неизвестными параметрами: алгоритм с инвариантной случайной штрафной функцией и алгоритм с обратной штрафной функцией. Оба алгоритма получены на основе предложенных впервые модификаций метода максимального правдоподобия.
4. Предложено новое представление для логарифма функционала отношения правдоподобия в виде суммы некоррелированных случайных величин. На основе этого представления разработана новая методика для анализа алгоритмов оценки числа сигналов, синтезированных на основе различных модификаций метода максимального правдоподобия. С помощью новой методики впервые проведён анализ четырёх модифицированных алгоритмов оценки числа сигналов. На основе полученных характеристик алгоритмов впервые выполнена оптимизация параметров этих алгоритмов в целях минимизации вероятности ошибки.

5. Разработана новая методика для изучения характеристик алгоритмов оценки числа сигналов с неизвестными неэнергетическими параметрами. На основе новой методики впервые найдены характеристики оценки максимального правдоподобия числа сигналов с неизвестными неэнергетическими параметрами, а также впервые получены характеристики четырёх модифицированных алгоритмов в случае решения задачи оценки числа сигналов с неизвестными амплитудами и неэнергетическими параметрами.
6. Впервые проведён синтез и анализ новых квазиправдоподобных алгоритмов оценки числа радиосигналов, а именно: квазиправдоподобного алгоритма оценки числа радиосигналов с неизвестными частотами, квазиправдоподобного алгоритма оценки числа радиосигналов с неизвестными амплитудами и фазами, а также квазиправдоподобного алгоритма оценки числа радиосигналов с неизвестными амплитудами, фазами и частотами.

Анализ основных новых результатов, полученных в диссертационной работе А. В. Харина показывает их существенную **значимость** для развития такого актуального направлений радиофизики, как создание новых методов анализа и статистической обработки сигналов в условиях помех.

Достоверность и обоснованность результатов диссертации подтверждается корректным применением современного математического аппарата статистической радиофизики и согласованием теоретических выводов с результатами статистического моделирования.

Следует отметить удовлетворительную апробацию основных результатов диссертационной работы и достаточный уровень публикаций. Так, по теме диссертации опубликовано 9 научных работ, из них 4 статьи – в журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ и индексируемых в Web of Science и Scopus. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

Результаты и выводы диссертационной работы обладают практической ценностью и значимостью для науки и производства так как могут найти применение при разработке и анализе алгоритмов функционирования устройств, обеспечивающих обработку информации в различных радиолокационных системах.

Полученные в диссертации результаты внедрены в научно-исследовательских работах и в учебном процессе в Воронежском государственном университете. Данные результаты могут быть также использованы в разработках НИРФИ (г. Нижний Новгород), АО «Концерн «Созвездие»» (г. Воронеж), Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета (ЛЭТИ) (г. Санкт-Петербург), НИУ

«МЭИ» (г. Москва), РГРТУ (г. Рязань), ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж), ВятГУ (г. Киров), АО «ИРКОС» (г. Воронеж), ООО «КОДОФОН-Т» (г. Воронеж).

Из недостатков диссертационной работы можно выделить следующие

1. Синтез и анализ алгоритмов оценки числа сигналов проводился только для непрерывного времени.
2. Необходим анализ влияния истинного числа сигналов на характеристики рассматриваемых алгоритмов.
3. В работе отсутствует количественное сравнение сложности практической реализации исследованных алгоритмов.
4. Проведённое в диссертации моделирование алгоритмов выполнено в программном пакете Mathcad, что может в некоторых случаях привести к снижению точности результатов статистического моделирования.
5. Комментарии к рисункам в третьей главе диссертационной работы недостаточно раскрывают физический смысл зависимостей, приведённых на этих рисунках.
6. В работе имеется небольшое количество опечаток и недостатков оформления.

Указанные недостатки не снижают значимости полученных результатов.

Диссертационная работа Харина А. В. «Оценка числа сигналов с неизвестными параметрами» полностью удовлетворяет требованиям ВАК при Минобрнауки России для кандидатских диссертаций, содержание диссертации соответствует специальности 01.04.03 – «Радиофизика», а её автор – Харин Александр Владимирович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Диссертация и отзыв рассмотрены на заседании секции №4 НТС ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца».

Протокол 6 от 26.08.16

Ведущий научный сотрудник,
д. т. н., профессор,
заслуженный деятель науки РФ

 Сазонов Владимир Васильевич

Председательствующий на секции № 4 НТС ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца».

Начальник отдела 055,
к. т. н., доцент



 Виноградов Александр Георгиевич