

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертации Харина А. В. «Оценка числа сигналов с неизвестными параметрами», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Современной тенденцией развития систем телекоммуникаций является повсеместное внедрение беспроводных локальных сетей, а также развитие персональных сетей передачи данных. Работа новейших систем передачи информации в подобных сетях построена на сверхширокополосных (СШП) сигналах с несущей (называемых в англоязычной литературе UWB – Ultra Wide Band). Практические исследования показывают, что в условиях большого числа препятствий, например, в городской среде или внутри здания, распространение СШП сигналов имеет многолучевой характер. Многолучевость проявляется тем больше, чем выше центральная частота СШП сигнала с несущей, и эта проблема особенно актуальна для сравнительно недавно лицензированного в России диапазона 802.11 ad на 60 ГГц.

Для повышения помехоустойчивости работы систем передачи информации в подобных условиях, приёмник должен оценивать число сигналов, пришедших на его вход по различным путям. В связи со сказанным выше, задача оценки числа сигналов является **актуальной** и важной частью общей задачи разработки алгоритмов функционирования систем передачи информации в беспроводных локальных сетях и персональных сетях передачи данных.

Структурно диссертационная работа представлена введением, тремя главами и заключением.

Во введении описывается постановка задачи и приводится достаточно полный и подробный обзор литературы, а также краткий исторический очерк работы, проделанной научным сообществом при исследовании проблемы

приема неизвестного числа сигналов или приема сигнала, состоящего из неизвестного числа собственных копий.

В главе 1 вводится укороченная вероятность ошибки – новая характеристика, необходимая для дальнейшего анализа алгоритмов оценки числа сигналов, исследованных в диссертационной работе. Также в первой главе исследуются три различные задачи оценки числа сигналов методом максимального правдоподобия в условиях априорной параметрической неопределённости. Это

- задача оценки числа детерминированных сигналов,
- задача оценки числа сигналов с неизвестными фазами,
- задача оценки числа сигналов с неизвестными неэнергетическими параметрами.

Алгоритмы, полученные в результате решения этих задач методом максимального правдоподобия анализируются с помощью введенной укороченной вероятности ошибки. Для анализа исследованных алгоритмов оценки числа сигналов с неизвестными неэнергетическими параметрами приводится новая методика, базирующаяся на известных результатах теории обнаружения сигналов. По результатам проведённых в главе исследований, даются выводы и рекомендации.

В начале главы 2 конкретизируются свойства неизвестных параметров сигналов, при которых оценка максимального правдоподобия числа этих сигналов становится неприменимой. Далее во второй главе рассматриваются три задачи, при решении которых используется не сам метод максимального правдоподобия, а четыре его модификации. Это

- задача оценки числа сигналов с неизвестными амплитудами,
- задача оценки числа сигналов с неизвестными амплитудами и фазами,
- задача оценки числа сигналов с неизвестными амплитудами и произвольными неэнергетическими параметрами.

Соответственно в диссертации синтезируются по четыре модифицированных алгоритма для каждой из трёх рассмотренных во второй

главе задач. Характеристики всех этих модифицированных алгоритмов исследуются с помощью введённого в первой главе понятия укороченной вероятности ошибки, при этом создана общая методика анализа алгоритмов, синтезированных на основе модификаций метода максимального правдоподобия. Эта методика базируется на разработанном в диссертации представлении логарифма функционала отношения правдоподобия в виде суммы некоррелированных случайных величин. Кроме того для анализа третьей задачи применяется методика на основе теории обнаружения сигналов, разработанная в первой главе. По итогам синтеза и анализа модифицированных алгоритмов проводится их сравнение между собой и даются рекомендации по применению этих алгоритмов.

В главе 3. рассматриваются вопросы квазиправдоподобной оценки числа сигналов с частично неизвестными параметрами. Подобные методы оказываются необходимыми, если параметры сигналов измерены, но с некоторой погрешностью, т. е. существует некоторый конечный априорный интервал, в который попадают эти значения. В третьей главе исследуются три задачи оценки числа радиосигналов с частично неизвестными параметрами:

- задача оценки числа сигналов с частично неизвестными частотами,
- задача оценки числа сигналов с частично неизвестными амплитудами и фазами,
- задача оценки числа сигналов с частично неизвестными амплитудами, фазами и частотами.

Для каждой из этих задач приводится решение в виде квазиправдоподобного алгоритма, кроме того, приводятся укороченные вероятности синтезированных квазиправдоподобных алгоритмов. Полученные характеристики квазиправдоподобных алгоритмов подробно исследуются, на основе чего приводятся выводы о целесообразности использования квазиправдоподобных алгоритмов в тех или иных ситуациях.

Заключение кратко резюмирует полученные результаты и сделанные на их основе выводы.

Таким образом, содержание диссертации **соответствует** заявленной теме, а сама диссертация представляет собой **законченную** научно-исследовательскую работу.

Основные результаты являются **новыми** и представляются необходимыми для дальнейшего развития теории и практических приложений статистической радиофизики. Наиболее важными результатами являются следующие.

Автором разработана сравнительно простая и понятная характеристика алгоритмов оценки числа сигналов – укороченная вероятность ошибки. Предложенная характеристика получена как аналитически, так и численно, для всех синтезированных в работе алгоритмов оценки числа сигналов. Для аналитических расчетов укороченных вероятностей ошибок разработаны две новые методики, одна из которых базируется на новом представлении ЛФОП в виде суммы некоррелированных случайных величин, а другая – на известных результатах теории обнаружения сигналов. Предложены три новых максимально правдоподобных алгоритма оценки числа сигналов. Впервые найдены условия, при которых методом максимального правдоподобия невозможно оценить число принятых сигналов. Предложены четыре новые модификации метода максимального правдоподобия для ситуаций, когда этот метод не позволяет напрямую оценить число сигналов. Впервые разработаны три квазиправдоподобных алгоритма оценки числа сигналов с частично неизвестными параметрами.

Достоверность и обоснованность основных результатов диссертации подтверждается корректным использованием математического аппарата теории вероятностей, математической статистики, линейной алгебры, теории матриц, теории случайных процессов, статистической радиофизики, согласованием выводов диссертации с результатами статистического моделирования, совпадением результатов в частных случаях с известными ранее, широкой апробацией результатов в научной печати и докладах на научных конференциях.

Практическая ценность полученных в диссертации результатов заключается в разработке которые алгоритмов оценки числа сигналов, которые могут повысить качество функционирования различных современных и перспективных систем локации и связи. Здесь также необходимо отметить **высокую значимость** полученных в диссертации результатов для науки и техники.

В то же время в качестве замечаний и недостатков следует отметить следующее

- отсутствует анализ влияния отклонения истинного значения числа сигналов от середины априорного интервала на качество функционирования алгоритмов оценки числа сигналов,

- недостаточно обосновано применение квазиправдоподобных методов по сравнению с такими широко известными, как, например, методы на основе байесовского подхода,

- нечётко сформулированы условия, существования интервалов значений расстройки по фазам, на которых вероятность ошибки для квазиправдоподобного алгоритма оценки числа сигналов с неизвестными фазами меньше, чем вероятность ошибки для максимально правдоподобного алгоритма оценки числа сигналов с неизвестными фазами,

- учитывая широкое распространение цифровых методов обработки сигналов желательно иметь конкретные методы перехода от алгоритмов оценки числа сигналов с непрерывным временем к алгоритмам оценки числа сигналов с дискретным временем,

- в работе отсутствуют подписи к рисунками, только номера, что затрудняет ее чтение.

Однако отмеченные недостатки в основном носят частный характер и не снижают научной и практической ценности диссертации в целом.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Результаты с необходимой полнотой опубликованы в научной печати.

Диссертация Харина А. В. является законченной научно-исследовательской работой, содержащей новое решение актуальных задач – статистического синтеза и анализа алгоритмов оценки числа сигналов. Диссертация Харина А. В. «Оценка числа сигналов с неизвестными параметрами» удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, ее содержание соответствует специальности 01.04.03 – Радиофизика, а Харин Александр Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

Титов Роман Васильевич

кандидат физико-математических наук

старший научный сотрудник

ООО «КОДОФОН-Т»,

394077, г. Воронеж,

Московский пр-т, 97, офис 3-11

тел. +7 (473) 274-72-41,

E-mail: vfursova@kodofon.vrn.ru

«29» августа 2016 года

Подпись Титова Р.В. заверяю

Генеральный директор ООО «КОДОФОН-Т»



Фурсова В.А.