

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

Ронкина Михаила Владимирович

«Методы повышения точности обработки информации в локационных информационно-измерительных системах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь).

Актуальность темы. Локационные информационно-измерительные системы (ЛИИС) находят широкое применение в промышленности, например, в расходомерии, уровнеметрии и других применениях. В ЛИИС информационные параметры связаны с временем задержки модулированных по заданному закону волн различной физической природы (соответственно сигнала), прошедших путь от излучателя до объекта контроля и обратно - до приемника. При этом для ЛИИС характерно наличие близких по задержке полезного и паразитных сигналов, однако, при высоких отношениях сигнал-помеха и сигнал-шум. Часто в ЛИИС используется линейная частотная модуляция (ЛЧМ) сигналов. При этом время задержки сигналов оценивается путем измерения частоты и начальной фазы сигналов биений, представляющих собой результат низкочастотной фильтрации произведения принимаемого (задержанного) и излученного сигналов. Как правило, в ЛИИС с ЛЧМ измерению подлежит только частота сигнала биений. Однако, если возможно измерение разностей времен задержек, например, последовательно принимаемых сигналов, информационным параметром может служить начальная фаза.

В литературе рассмотрено и предложено большое количество методов измерения параметров сигналов биений локационных систем с ЛЧМ. Однако, в приложениях ЛИИС с ЛЧМ данные методы имеют ряд недостатков. В частности, методы одновременно не удовлетворяют условиям обеспечения высокой точности для ограниченной выборки, низкой вычислительной сложности и низкими требованиями к памяти вычислительного устройства. Также известны методы оценки начальной фазы и частоты сигналов, основанные на аппроксимации зависимостей аргументов комплексной функции сигнала (полной фазы сигнала) от времени, которые имеют низкую вычислительную сложность и низкие требования к оперативной памяти и обеспечивают статистически состоятельные оценки параметров сигнала. Однако, данные методы разработаны только для смеси одного гармонического сигнала и аддитивного белого Гауссова шума. Таким образом, разработка методов и алгоритмов, обеспечивающих требуемую точность измерения параметров информационных сигналов в ЛИИС с ЛЧМ, является актуальной.

Анализ содержания диссертационной работы

Во введении изложена общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, сформулирована цель работы, отражена научная новизна и практическая ценность.

В первой главе проведен анализ современных методов обработки информационных сигналов, использованных в ЛИИС с ЛЧМ. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе обоснован метод измерения разностей времен задержек между информационными сигналами ЛИИС с ЛЧМ, например, последовательно принятыми. Этот метод основан на совместном использовании значений частоты и начальной фазы произведения соответствующих сигналов биений. Показано, что такой подход позволяет получить дисперсию (границу Крамера-Рао) и смещение оценки в несколько раз меньше по сравнению с оценками разностей задержек отдельно по частоте и по начальной фазе. Доказаны статистические свойства оценки, соответствующей данному методу. Даны рекомендации по применению метода. Показано, что непосредственное использование выражения оценки имеет ограниченную область однозначного определения, для ее расширения предложено использование предварительной (менее точной) оценки по частоте сигналов биений.

В третьей главе обоснован метод измерения времен задержек информационных сигналов ЛИИС с ЛЧМ, основанный на анализе зависимости фазы автокорреляционной функции дискретного сигнала биений от времени. Обоснованы свойства оценки, соответствующей данному методу. Даны рекомендации по применению метода.

В четвертой главе исследованы вычислительные алгоритмы, реализующие разработанные методы вычисления времен задержек и разностей времен задержек. Утверждается, что алгоритм оценки частоты сигналов биений ЛИИС с ЛЧМ имеет вычислительную сложность на несколько порядков ниже, чем классический алгоритм оценки по максимуму спектра при одинаковых требованиях к точности. Показано, что алгоритм измерения разности задержек позволяет преодолеть область однозначного определения, описанную во второй главе. Разработаны программные реализации алгоритмов, на языке программирования Python и даны рекомендации к выбору вычислительного устройства для их реализации.

В пятой главе представлены результаты экспериментальной проверки разработанных алгоритмов оценки времен задержек и разностей времен задержек информационных сигналов ЛИИС с ЛЧМ в задачах ультразвуковой времяпролетной расходомерии жидкостей в трубопроводах с накладными первичными преобразователями. Результаты, полученные экспериментально, подтверждают выводы, сделанные теоретически.

В заключении подведены итоги исследования и сформулированы основные научные и практические результаты.

В приложениях содержатся листинги разработанных алгоритмов и приведены акты внедрения работ, выполненных в рамках диссертационного исследования.

Качество изложения и оформления материалов

Материалы диссертации изложены последовательно и логично, текст написан в научном стиле и соответствует требованиям к научным квалификационным работам. Автореферат диссертационной работы полностью соответствует ее содержанию и структуре.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня основных сокращений, списка условных обозначений, перечня основных терминов и определений, списка литературы из 112 наименований, 4 приложений и содержит 34 рисунка и 6 таблиц. Основной текст работы содержит 119 страниц, общий объем – 127 страницы.

Степень обоснованности сформулированных в диссертации положений, и достоверность полученных результатов

Обоснованность положений и достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью предположений, применяемых при разработке методов, использованием стандартной измерительной аппаратуры и методов измерений при экспериментальной проверке алгоритмов, а также подтверждается их успешным практическим использованием. Все выносимые на защиту положения не противоречат общей теории обработки локационных сигналов и результатам, полученным другими авторами. Дополнительно достоверность основных результатов работы аргументируется их апробацией на 8 конференциях (2014-2019 г.г.), а также публикациями в рецензируемых журналах. По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе: 12 работ опубликовано в журналах, определенных ВАК и Аттестационным советом УрФУ, 10 из которых проиндексированы международной базой цитирования Scopus; получено три патента РФ на изобретение и один на полезную модель.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации(информатизация и связь), а именно пункту 4: «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации».

Научная новизна результатов:

1. Для рассмотренной модели сигналов ЛИИС с ЛЧМ разработан метод оценки разности задержек, основанный на аппроксимации фазы сопряженного произведения комплексных сигналов биений от времени взвешенным методом наименьших квадратов, для которого доказаны: снижение дисперсии и смещения оценок разностей задержек сигналов ЛИИС с ЛЧМ данным методом относительно традиционно используемых оценок разностей задержек по частоте и начальной фазе сигналов биений в несколько раз.

2. Разработан метод измерения задержек сигналов ЛИИС с ЛЧМ, основанный на аппроксимации фазы сигналов биений от времени с помощью взвешенного метода наименьших квадратов. Показана статистическая эффективность данного метода, даны рекомендации по его использованию.

3. Разработаны вычислительные алгоритмы измерения времен задержки и разностей времен задержки информационных сигналов ЛИИС с ЛЧМ. Утверждается, что вычислительный алгоритм оценки времени задержки обладает вычислительной сложностью на два порядка ниже, чем традиционно-используемые методы и при этом обеспечивает аналогичную точность в условиях, характерных для ЛИИС с ЛЧМ. Показано, что алгоритм измерения разностей задержек позволяет преодолеть область однозначного определения оценок задержки, связанную с учетом начальной фазы.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что разработанные методы оценок временных параметров сигналов ЛИИС с ЛЧМ дополняют и развивают представления о потенциальных возможностях таких систем.

Практическая значимость работы состоит в том, что внедрение разработанных методов и алгоритмов измерения временных параметров ЛИИС с ЛЧМ позволяет проводить измерения времён задержки и связанных с ним величин с пониженным в несколько раз влиянием шумов на точность показаний, по сравнению с большинством существующих методов и алгоритмов.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований легли в основу новых типов ультразвуковых расходомеров жидкостей и газов, защищённых патентами на изобретения и полезные модели.

В работе даны рекомендации по использованию разработанных методов в ЛИИС с ЛЧМ. Для разработанных алгоритмов показаны требования к вычислительным устройствам и приведен листинг на языке программирования Python.

Вопросы и замечания:

1. Вызывает сомнение утверждение о том, что предложенные алгоритмы имеют меньшую чувствительность к влиянию помех. Влияние помех физически выражается в искажении формы основного лепестка спектра сигнала биений, т.е. смещении положения его максимума. Поэтому любой метод, основанный на оценке положения максимума спектра (или спектральной плотности мощности как в данной работе) должен обеспечивать одинаковую погрешность оценки, при условии, что он не вызывает возникновения дополнительной погрешности. Это утверждение подтверждают результаты проведённого сравнительного моделирования. При этом необходимо понимать, что теоретически предложенные в диссертации алгоритмы не имеют методической погрешности благодаря особенностям спектра используемого аналитического (комплексного) сигнала, в отличие от известных алгоритмов. Поэтому выигрыш в чувствительности к влиянию помех проявляется только при оценке только очень малых расстояний, когда методическая погрешность ряда известных методов максимальна. Но при этом её величина небольшая и этот выигрыш незначителен.

2. Не рассмотрено влияние погрешностей формирования квадратурных сигналов на достижимую точность оценки. Такие погрешности должны особо сильно сказываться на малых измеряемых расстояниях, так как при этом в сигнале биений имеется всего один – два периода. Известно, что для такого сигнала преобразование Гильберта приводит к значительным погрешностям, что подтверждают наши результаты численного моделирования. Аппаратное формирование квадратурных сигналов по рассматриваемым схемам (например, рис 1.1) так же должно давать большие погрешности вследствие сложности обеспечения формирования сдвига фазы на $\pi/2$ в широкой относительной полосе частот, занимаемой ЧМ сигналом.

3. При описании условий численного моделирования отсутствуют размерности используемых величин (частоты, девиации частоты, частоты дискретизации, периода модуляции, времени задержки). Например: стр. 46, п. 6; стр. 51; стр. 56; стр. 57; стр. 64; стр. 67; стр. 76 и др.

4. Некоторые отступления от ГОСТ Р7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации». В частности после цифры номера заголовка точка не ставится.

5. Имеются синтаксические и грамматические ошибки. Ошибки в обозначениях на рисунках (на рис. 2.1, обозначение на оси ординат отличается от рис. 3.1 для одинаковых величин) Иногда в тексте отсутствуют некоторые слова. Например, на стр. 65 в заголовке отсутствует слово «алгоритмом», и др.

6. На рис. 3.7 непонятные единицы отложены по оси ординат. Возможно, в подписи оси отсутствует множитель 20°

7. В псевдокодах алгоритмов на стр. 74 и стр. 78 формулы для *num* и *denum* перепутаны. Поэтому они не соответствуют теоретическим формулам (3.11) и (2.26).

8. В работе производится сравнение вычислительной сложности предложенного алгоритма с наиболее худшим вариантом реализации традиционного алгоритма на основе оценки положения максимума спектральной плотности, заключающимся в добавлении нулей к массиву обрабатываемых отсчётов сигнала биений. Однако, существует реально применяемый в серийных приборах алгоритм двухэтапной оценки частоты (опубликованный в монографии, на которую имеется ссылка в данной диссертационной работы) с использованием на первом этапе быстрого преобразования Фурье для грубой оценки частоты и затем использованием на втором прецизионном этапе непрерывно-дискретного преобразования Фурье для численного поиска положения максимума спектра. Этот алгоритм проигрывает предложенному алгоритму по времени обработки примерно в 2-3 раза, но не на два порядка, как утверждается в диссертации.

9. На рис. 4.4 отсутствует размерность по оси абсцисс.

10. В экспериментальной части работы указывается, что при генерации ЛЧМ сигнала частота меняется ступенчато. Однако, автор не указывает критерии выбора числа ступеней и соотношений длительностей ступеней и задержки сигнала.

Общее заключение

Диссертационная работа «Методы повышения точности обработки информации в локационных информационно-измерительных системах» Ронкина М.В. является актуальной, обладает научной новизной, практической и теоретической значимостью и является законченным исследованием. Предложенные в диссертации научно-технические решения актуальной задачи разработки новых методов, повышающих точность измерения времен задержки ЛЧМ сигналов в локационных информационно-измерительных системах, является новыми, обоснованными теоретически и апробированными в условиях экспериментов.

Приведенные вопросы и замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Ронкина М.В. Работа соответствует паспорту специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь).

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Ронкин Михаил Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь).

Официальный оппонент,

профессор кафедры радиоуправления и связи

ФГБОУ ВО «РГРТУ им В.Ф. Уткина»,

доктор технических наук, профессор

Езерский Виктор Витольдович

Полное наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет им В.Ф. Уткина»

Юридический адрес: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1

Телефон: +7 495 37-07-1214

Электронный адрес: ezerski@yandex.ru.

Подпись Езерского Виктора Витольдовича заверяю:

Секретарь ученого совета ФГБОУ ВО «РГРТУ им. В.Ф. Уткина»

Пржегорлинский В.Н.

