

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Ронкина Михаила Владимировича «Методы повышения точности обработки информации в локационных информационно-измерительных системах», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации (информатизация и связь)

Актуальность темы диссертации

Локационные информационно-измерительные системы с линейной частотной модуляцией (далее для краткости — ЛИИС с ЛЧМ), которые основаны на обработке отраженных электромагнитных или акустических волн, широко применяются в промышленности, медицине, сельском хозяйстве и многих других сферах деятельности. ЛИИС с ЛЧМ используются для измерений расстояний, которые могут меняться в широком диапазоне, с требуемой точностью 0,1 – 0,001%. Нередко возникает необходимость измерения малых значений разностей времен задержки между последовательно принимаемыми сигналами и по этой разности определять параметры исследуемого объекта. Типичный порядок разностей времен задержки в таких ЛИИС составляет тысячные – десятые доли процентов от самих значений времен задержки.

В рассматриваемых локационных измерительных системах основным носителем информации об измеряемых параметрах — временной задержке τ между принятым и излученным сигналами и разности $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ времен задержки двух принятых сигналов — является сигнал биений $s(t)$ излучаемой и принимаемой волн.

Целью исследования диссертационной работы является разработка и исследование высокоточных методов и алгоритмов обработки сигнала биений $s(t)$, формируемого ЛИИС с ЛЧМ.

Актуальность данной темы обусловлена, помимо ее практической значимости, следующими обстоятельствами. Для измерения времен задержки ранее были разработаны методы и соответствующие им алгоритмы, основанные на оценке частоты сигналов $s(t)$ в спектральной области, а также методы, основанные на измерении начальной фазы $s(t)$. Также известны методы оценки начальной фазы и частоты сигналов, основанные на аппроксимации зависимостей аргументов комплексной функции сигнала (полной фазы сигнала) от времени, которые имеют невысокую вычислительную сложность и соответственно малые требования к оперативной памяти вычислителя и обеспечивают получение статистически состоятельных оценок параметров сигнала $s(t)$. Однако, данные методы оказываются работоспособными только для смеси гармонического сигнала и аддитивного белого гауссового шума. При наличии в сигнале мультипликативных и аддитивных сигналоподобных помех данные методы не могут обеспечить требуемой точности измерения времени задержки τ . Таким образом, разработка

методов и алгоритмов, обеспечивающих требуемую точность измерения параметров информационных сигналов в ЛИИС с ЛЧМ, является актуальной.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня основных сокращений, списка условных обозначений, перечня основных терминов и определений, списка литературы из 112 наименований и 2-х приложений.

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

В первой главе проведен анализ современных методов обработки информационных сигналов, использованных в ЛИИС с ЛЧМ, результаты которого показали, что существующие методы измерения, основанные на измерении значений частоты и фазы, не обеспечивают требуемой точности измерения времен задержек и их разностей в ряде случаев (например, в ультразвуковой расходометрии, спирометрии, измерении малых изменений уровня жидкостей в баках). Сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе разработан и обоснован метод измерения разностей Δt времен задержек между информационными сигналами ЛИИС с ЛЧМ, основанный на совместном использовании значений частоты и начальной фазы произведения сигналов биений. Показано, что дисперсия оценки данным методом достигает границы Крамера-Рао при отношении сигнал-шум от 15 дБ, при этом минимально необходимое отношение сигнал-помеха равно 12 дБ. Также показано, что метод обеспечивает повышение точности оценок разностей времен задержек на порядок, по сравнению с традиционно используемыми методами.

В третьей главе разработан и изучен метод измерения времен задержки информационных сигналов ЛИИС с ЛЧМ, основанный на анализе зависимости фазы автокорреляционной функции сигнала биений от времени. Получено выражение для статистической оценки $\Delta \hat{t}_T$, которое обеспечивает получение однозначной оценки разности Δt в диапазоне от 0 до половины периода зондирующего сигнала. Оценка $\Delta \hat{t}_T$ времени задержки, выполненная с помощью разработанного метода, является состоятельной, асимптотически несмещенной и эффективной, и имеет дисперсию, достигающую границы Крамера-Рао при отношении сигнал-шум от 10 дБ, при этом минимально необходимое отношение сигнал-помеха равно 12 дБ.

В четвертой главе разработаны вычислительные алгоритмы, основанные на разработанных методах измерения времен задержек (алгоритмы №1) и разностей времен задержек (алгоритмы №2) информационных сигналов ЛИИС с ЛЧМ. Показано, что данные алгоритмы могут быть реализованы на основе микроконтроллеров, требования к которым также определены. Получены оценки вычислительной сложности данных алгоритмов, которые в практических применениях ЛИИС имеют величину на два порядка раз ниже, чем у традиционно используемого метода оценки по максимуму спектра сигнала, полученному путем быстрого преобразования Фурье при одинаковых требованиях к точности. Алгоритм №2, обеспечивает возможность проведения измерений за пределами диапазона однозначного определения начальной фазы

сигналов биений. Разработаны программные реализации алгоритмов, на языке программирования Python.

Пятая глава посвящена экспериментальной проверке разработанных алгоритмов и исследованию особенностей их применения в задачах ультразвуковой времяпролетной расходомерии с накладными пьезопреобразователями. Полученные результаты подтверждают выводы, сделанные по результатам аналитических исследований и численного моделирования.

В конце каждой главы дано обобщение ее результатов, заключение также приводится по работе в целом, где сформулированы основные результаты.

Новизна научных положений

Основные результаты диссертационной работы являются новыми. Среди таковых следует отметить:

- метод обработки информационных сигналов в ЛИИС с ЛЧМ для измерения разности времен задержки, основанный на использовании аппроксимации зависимости фазы сигналов биений от времени с помощью взвешенного метода наименьших квадратов;
- метод обработки информационных сигналов в ЛИИС с ЛЧМ для измерения времени задержки, основанный на использовании аппроксимации зависимости фазы автокорреляционной функции сигналов биений от времени с помощью взвешенного метода наименьших квадратов;
- вычислительные алгоритмы измерения времен задержки и разностей времен задержки информационных сигналов ЛИИС с ЛЧМ.

Степень обоснованности научных результатов

Высокая степень обоснованности научных результатов диссертации обеспечивается их соответствием результатам, полученным другими авторами; качественным и количественным соответствием теоретических выводов данным, полученным экспериментально; использованием аттестованной измерительной аппаратуры и подтверждается успешным практическим использованием в реализованных устройствах и системах. Дополнительно достоверность основных результатов работы аргументируется их апробацией на конференциях, а также публикациями в рецензируемых журналах.

Выносимые на защиту научные результаты достаточно полно отражены в 20 опубликованных научных работах, 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 – полезную модель. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Значимость результатов диссертации для науки и практики

Теоретическая значимость работы заключается в создании и математическом обосновании новых методов и реализующих их алгоритмов обработки информационных сигналов в ЛИИС с ЛЧМ.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанные методы позволяют повысить точность обработки информации в ЛИИС с ЛЧМ,

созданные программные реализации разработанных вычислительных алгоритмов ориентированы на использование в современных микроконтроллерах.

Значимость практических результатов диссертации подтверждается тремя актами о внедрении в производственные процессы конкретных предприятий, а также актом об использовании в учебном процессе Департамента радиоэлектроники и связи Института радиоэлектроники и информационных технологий-РТФ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Оформление диссертации

Текст диссертации написан правильным литературно-техническим языком, имеет ясную логическую структуру, снабжен достаточным количеством иллюстративного материала, имеет сравнительно не много орфографических и технических ошибок.

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».

Замечания по диссертации

Замечания к обзорной главе 1.

- имеется неточность в формуле (1.23) границы Крамера-Рао при оценивании амплитуды гармонического сигнала;
- наблюдалась путаница в формулах (1.52) и (1.56), что, к счастью, не повлияло на итоговое выражение (1.57) для функции правдоподобия $L(a)$;

Замечания к главе 2.

- Граница Крамера-Рао для дисперсии оценки Δt в формуле (2.9) по причине неточности формулы (1.24) оказывается в три раза завышенной. Это граница оценки Δt , вычисленной только по значениям начальной фазы сигналов биений. Эта неточность распространяется на первое равенство в формуле (2.10), которое говорит о соотношении границ Крамера-Рао предлагаемой интегральной оценки и оценки только по начальной фазе.
- Имеются ошибки в формулах п.2.3 в части доказательства состоятельности оценки Δt , которые осложняют проверку выкладок, тем не менее доказательство верное.

Замечание к главе 3.

- Имеется неточность в приближенной оценке дисперсии ошибки оценки частоты в формуле (3.19): эта оценка получилась в два раза больше, чем должна быть, тем не менее вывод об эффективности оценки остается верен.

Замечание к главе 5.

- Из таблиц 5.3 и 5.4 видно, что алгоритм "МаксКор" успешно конкурирует по точности с предлагаемым алгоритмом 2. Однако в тексте этот факт не прокомментирован.

Заключение

Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа Ронкина М.В. «Методы повышения точности обработки информации в локационных информационно-измерительных системах» в целом, заслуживает положительной оценки. Она представляет собой цельное и интересное исследование, выполненное на достаточно высоком научном уровне. Диссертационная работа содержит результаты, обладающие научной новизной и имеющие практическую значимость в задачах измерения времен задержек и разностей задержек линейно-частотно модулированных сигналов в локационных информационных системах.

Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы в достаточном количестве авторитетных изданий, обсуждены на ряде научных конференций и отражают содержащиеся в диссертации выводы, а также основные аспекты их практической реализации.

Диссертация имеет четкую структуру, хорошо оформлена. Автореферат с достаточной полнотой отражает ее содержание.

Таким образом, диссертация Ронкина Михаила Владимировича полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, 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,

Заведующий отделом прикладных проблем управления,
кандидат физико-математических наук,
доцент,

Костоусов Виктор Борисович.

ФГБУН Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения РАН.

Адрес: Россия, 620990, г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 16

Телефон: +7 (343) 374-83-32

Факс: +7(343) 374-25-81

Сайт организации: <https://www.imm.uran.ru>

e-mail: vkost@imm.uran.ru

Подпись Виктора Борисовича Костоусова удостоверяю.

Ученый секретарь ИММ УрО РАН, к.ф.-м.н.

О.Н.Ульянов

