

СИЛИН Сергей Игоревич

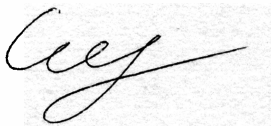
АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ ПАССИВНОЙ
РАДИОЛОКАЦИИ И ОЦЕНКА ИХ ФАЗОЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Специальности:

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в
технических системах)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва, 2012

2

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана на кафедре «Автономные информационные и управляющие системы».

Научный руководитель:

кандидат технических наук,
Жураковский Валерий Николаевич
Козлов Анатолий Иванович – доктор
физико – математических наук,
профессор Московского
государственного технического
университета гражданской авиации,
Заслуженный деятель науки и
техники РФ.

Официальные оппоненты:

Герасимов Алексей Анатольевич –
кандидат технических наук, доцент,
начальник отдела ОАО «ОКБ
Сухого».

Ведущая организация

ФГУП «ЦНИРТИ им. академика А.
И. Берга» г. Москва.

Защита состоится « 26 » июня 2012 г. В 14:30

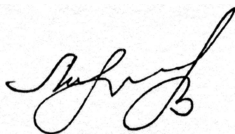
на заседании диссертационного совета д 212.141.02 при Московском
государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана по адресу:
105005, Москва, Госпитальный пер., д.10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан « 24 » мая 2012 г.

Отзывы и замечания по автореферату в двух экземплярах, заверенные печатью,
просьба выслать по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент



Муратов И.В.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1997066

Силин С.И. Алгоритмы обнару

06

218

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Диссертация посвящена вопросам синтеза алгоритмов обнаружения и оценки параметров радиосигналов в условиях высокой априорной неопределенности, и исследованию их работы в различных условиях функционирования целевой многоканальной системы пассивной пеленгации.

За последние годы в мире наметилась тенденция перехода от построения бортовых систем обработки сигналов на базе аналоговой микроэлектроники к построению на базе цифровой. Это связано с совокупностью различных факторов, например, таких как относительно высокая стабильность работы цифровых алгоритмов по сравнению с работой алгоритмов, реализованных на аналоговых микросхемах. Аналоговая вычислительная электроника целиком построена на использовании различных включений усилительных каскадов и пассивных элементов. Производственный разброс параметров элементов приводит к необходимости настройки всех алгоритмических звеньев, что при реализации сложных алгоритмов приводит к большой трудоемкости регулировки изделий. Чувствительность всех элементов к условиям окружающей среды приводит к необходимости обеспечивать заданные климатические условия – влажность, температуру, давление – в противном случае рабочая точка может «уплыть», то есть выйти из диапазона значений, в которых возможна работа алгоритма. Еще одним существенным недостатком является то, что даже простейшие арифметические операции, такие как сложение и вычитание, требуют использования большого числа элементов, а, следовательно, и места на платах, энергопотребления и прочего.

В противовес этому цифровые алгоритмы нечувствительны к изменениям окружающих условий – параметры фильтров, полиномиальные коэффициенты, порядок сортировки и выборки не изменяется ни от температуры, ни от влажности – цифровая микросхема в заданных условиях может либо работать, либо нет. Это устраняет необходимость обеспечения стабильности окружающих условий и регулировки элементов для достижения наилучших соотношений параметров алгоритмов. В дополнение к этому цифровые микросхемы позволяют реализовать объемные, в плане вычислений, и ресурсозатратные алгоритмы с использованием малого числа корпусов, что снижает, как размеры разрабатываемых блоков, так и весовые характеристики, что является весьма актуальным для бортовых систем, в которых всегда ограничено доступное для размещения пространство и грузоподъемность.

За последние годы цифровая техника претерпела экспоненциальный рост производительности и емкости, при параллельном снижении размеров. Современный уровень интеграции позволяет уместить несколько десятков тысяч логических элементов в одном корпусе, как снизив габариты, так и повысив быстродействие системы. Большое число элементов, размещенных на одном небольшом кристалле, позволяет практически устранить проблемы, которые возникают при трассировке печатных плат, тем самым можно

реализовать устройство, в котором заложена большая функциональность по сравнению с предшествующими аналогами.

В связи с этим, весьма актуальной является разработка алгоритмов обнаружения сигналов и оценки параметров сигналов с высокой степенью априорной неопределенности и широкой вариативностью для бортовых систем на базе современной цифровой техники. Отличительной особенностью таких систем являются повышенные требования к массе и габаритам, что не позволяет применять большое число вычислительных кластеров, а это означает, что многие классические оптимальные схемы обнаружения, распознавания и оценки оказываются неприменимыми в данных условиях. Таким образом, для учета специфики бортовых устройств необходимо разработать некоторое средство или методику, которая позволила бы наложить ограничения на синтезируемые алгоритмы, а также, чтобы можно было произвести сравнительный анализ алгоритмов для выбора тех, которые наилучшим образом подходят для реализации в указанных условиях.

Обозначенная возможность сравнения приводит к необходимости разработки некоторого критерия или системы критериев качества. Для создания подобного критерия и ограничивающих условий в сложной системе взаимодействующих алгоритмов целесообразно воспользоваться некоторыми областями теории системного анализа.

Цель и задачи диссертации

Целью диссертационной работы является повышение вероятности обнаружения сигналов, точности оценки частотных параметров сигналов, надежности работы и эффективности использования доступных ресурсов в системах многоканальной пассивной радиопеленгации.

В соответствии с целью диссертационной работы были **сформулированы и решены следующие задачи:**

1. Исследование достижимой потенциальной точности оценок фазо-частотных параметров для многоканальных цифровых систем пассивной радиопеленгации;
2. Разработка методики оценки эффективности синтезируемых алгоритмов для обнаружения сигналов и измерения их фазо-частотных параметров при их использовании в многоканальных системах пассивной радиопеленгации;
3. Разработка алгоритмов обнаружения импульсных и непрерывных сигналов и оценка их фазо-частотных параметров для систем пассивной радиопеленгации в условиях высокой априорной неопределенности;
4. Построение математической и имитационной моделей многоканальной системы широкополосной пассивной радиолокации, предназначенной для обнаружения сигналов, их пеленгации и измерения фазо-частотных параметров;
5. Проведение численного и экспериментального моделирования работы алгоритмов обнаружения сигналов и оценки их фазо-частотных параметров в для систем пассивной радиолокации.

Методы исследований базируются на теории системного анализа, теории принятия решений, аналитических и численных методах, статистических методах обработки информации и математических методах обработки информации на ПЭВМ

Научная новизна работы:

1. Разработана методика оценки эффективности алгоритмов для цифровой обработки сигналов в бортовых системах реального времени, предназначенных для пассивной радиолокации;
2. Разработаны алгоритмы обнаружения импульсных и непрерывных сигналов с априорно неизвестными параметрами и алгоритмы оценки фазо-частотных параметров принимаемых сигналов в многоканальных цифровых системах пассивной радиолокации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследований потенциальной точности оценки фазо-частотных параметров сигналов в многоканальных цифровых системах пассивной радиолокации;
2. Алгоритмы обнаружения сигналов и оценки их фазо-частотных параметров в многоканальных цифровых системах пассивной радиопеленгации;
3. Математическая модель многоканальной цифровой системы пассивной радиопеленгации;
4. Результаты математического и экспериментального моделирования работы алгоритмов обнаружения сигналов и оценки их фазо-частотных параметров в системах пассивной радиопеленгации.

Достоверность научных выводов подтверждается:

1. Корректностью исходных математических положений, обоснованностью принятых допущений, репрезентативностью статистических данных.
2. Соответствием результатов теоретических исследований, результатов математического моделирования и результатов экспериментальных исследований.

Личный вклад автора:

Основные результаты, вывод и рекомендации, приведенные в диссертации, получены автором лично.

Практическая значимость работы:

В диссертации произведено исследование потенциальной точности оценки фазо-частотных параметров сигналов в системах пассивной радиолокации. Результаты исследования могут быть использованы для обоснования тактико-технических требований к системам пассивной радиолокации, а также для оценки возможностей таких систем.

Предложена методика оценки эффективности реализации алгоритмов цифровой обработки в бортовой аппаратуре цифровой обработки сигналов. Предложенная методика, критерий сравнения и система ограничивающих условий может быть использована для обоснования выбора алгоритмов цифровой обработки сигналов в системах пассивной радиолокации, а также для обоснования структуры подобных систем.

Разработаны алгоритмы обнаружения широкополосных сигналов в условиях высокой априорной неопределенности и широкой номенклатуры видов модуляций, а также алгоритмы оценки их фазо-частотных параметров. Разработанные алгоритмы могут быть использованы в широкополосных многоканальных цифровых системах пассивной радиолокации.

Разработаны математические и имитационные модели многоканальных цифровых систем пассивной радиолокации. Модели могут быть использованы для разработки и оценки результатов работы алгоритмов, предназначенных для подобных систем. Модели позволяют производить сравнение различных алгоритмов, а также производить исследования отличий аппаратно реализованных систем от математической модели для поиска и устранения неисправностей, а также для внесения корректив в алгоритмы, которые позволяют учесть отличие реальной и модельной систем.

Апробация работы:

1. Доклад на XXXVII Всероссийской научно-технической конференции. – М., 2011
2. Доклад на Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». – М., 2011
3. Доклад на Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». – М., 2012
4. Доклад на XXXIX Всероссийской научно-технической конференции «Проектирование систем». – М., 2012

Внедрение результатов работы:

1. Результаты диссертации внедрены в ОКР «Фракция» ЦНИРТИ им. А.И. Берга, что подтверждается актом внедрения.
2. Результаты диссертации внедрены в ОКР «Антракт» ЦНИРТИ им. А.И. Берга, что подтверждается актом внедрения.
3. Результаты диссертации внедрены в ОКР «Литограф» ЦНИРТИ им. А.И. Берга, что подтверждается актом внедрения.
4. Результаты диссертации используются в учебном процессе на кафедре автономных информационных и управляющих систем МГТУ им. Н.Э. Баумана, что подтверждается актом об использовании.

Публикации. Результаты диссертации отражены в 8 научных работах, из них в журналах по перечню ВАК - 1.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (наименований), приложения, и изложена на 148 листах машинописного текста, включая 61 рисунок.

Содержание работы

Во введении сказано о современных тенденциях в области развития систем цифровой обработки сигналов в области пассивной радиолокации, и обоснована связанная с этим актуальность синтеза алгоритмов цифровой

обработки сигналов с широкой вариативностью априорно неизвестных параметров. Также рассказано о необходимости разработки методики оценки эффективности алгоритмов, применительно к их использованию в бортовых системах цифровой обработки. Современные подходы к разработке бортовых систем предусматривают существенное урезание возможностей имеющейся алгоритмической части в связи с недостатком ресурсов вычислительной базы. Как правило, усечение производится на усмотрение разработчика без научного подхода к оценке узких мест, в которых урезание алгоритма необходимо, а в каких алгоритмическую часть можно оставить в исходном виде. Во введении обоснована актуальность разработки системы критериев, позволяющей произвести научную оценку реализуемости алгоритмов.

Также во введении определены цели и задачи исследования, используемые для достижения целей методы, описаны научная и практическая значимость работы, а также указаны положения, выносимые на защиту.

В первой главе описана специфика построения бортовых систем реального времени, предназначенных для цифровой обработки информации при пассивной радиопеленгации. Указано, что цифровые системы обладают следующими преимуществами: стабильность характеристик во всем диапазоне условий эксплуатации, возможность адаптации к изменяющимся условиям работы, модернизация устройства за счет модификации программного обеспечения без изменения аппаратной части, снижение массы, габаритов и, как следствие, существенное повышение надежности, простота настройки аппаратуры. Показывается, что следствием этого является переход в построении систем пассивной радиолокации на базу цифровой логики. Приводятся требования для современных систем подобного назначения, и обосновывается актуальность разработки алгоритмов цифровой обработки сигналов для таких систем. Показываются используемые для разработки алгоритмов математические модели сигналов.

В связи с появлением требований к тактико-техническим характеристикам систем пассивной радиолокации решается задача определения потенциальной точности оценки частотных и фазовых параметров сигналов по критерию Крамера – Рао на основе информации Фишера. Были получены формулы, для определения информации Фишера о частоте принимаемого сигнала в зависимости от отношения сигнал-шум (ОСШ), количества приемных каналов, количества отсчетов в выборке, начальной фазы сигнала на интервале анализа, частоты сигнала и частоты дискретизации при использовании алгоритмов без памяти о выборке:

$$I = \sum_{i=1}^N I(f) = q^2 (2\pi T_d)^2 M \sum_{i=1}^N \cos^2(2\pi f i T_d + \varphi_0)$$

и при использовании алгоритмов с памятью о всей анализируемой выборке:

$$I = \sum_{i=1}^N I(f) = q^2 (2\pi T_d)^2 M \sum_{i=1}^N i^2 \cos^2(2\pi f i T_d + \varphi_0)$$

Также было проведено исследование и получено выражение для информации Фишера о наличии фазой манипуляции на интервале анализа:

$$I_1(\varphi) = q^2 \cos^2(2\pi f T_d + \varphi_0).$$

Были получены выражения для потенциальной точности оценки величины фазовой манипуляции:

$$D_\varphi \geq \frac{1}{q^2 \sum_{i=1}^N \cos^2(2\pi f T_d i + \varphi_0)},$$

значения несущей частоты при отсутствии памяти по выборке

$$D_f \geq \frac{1}{q^2 (2\pi T_d)^2 M \sum_i \cos^2(2\pi f i T_d + \varphi_0)}$$

и при наличии памяти о выборке

$$D_f \geq \frac{1}{q^2 (2\pi T_d)^2 M \sum_i i^2 \cos^2(2\pi f i T_d + \varphi_0)}.$$

Был произведен анализ полученных зависимостей, и произведено научное обоснование потенциальных возможностей систем пассивной радиопеленгации. Также результаты анализа были использованы при разработке алгоритмов во второй главе.

Анализ зависимостей также показал, что потенциальная точность зависит от типа используемого алгоритма. В связи с этим была поставлена и решена задача оценки эффективности используемого алгоритма цифровой обработки в бортовых системах пассивной радиолокации.

Было предложено ввести понятие эффективности реализации алгоритма в бортовой системе, как функции относительного заполнения производительных мощностей аппаратуры. В качестве примера рассматривается интегральный критерий эффективности, выведенный методами системного анализа, для программируемых логических схем.

$$\varepsilon_M(\text{алг}) = \frac{M_{\text{mem}}(\text{алг})}{M_{\text{mem max}}} + \frac{M_{\text{logic}}(\text{алг})}{M_{\text{logic max}}} + \frac{M_{\text{dsp}}(\text{алг})}{M_{\text{dsp max}}}$$

При этом более предпочтительная реализация выбирается, исходя из условия

$$\varepsilon_{M_i}(\text{алг}_i) > \varepsilon_{M_j}(\text{алг}_j) \Rightarrow \text{алг}_j > \text{алг}_i$$

Также на реализацию алгоритма накладывается условие в виде ограничений на максимально допустимое время обработки информации в системе, а также на минимальное допустимое время между поступлением двух порций входных данных, которые могут быть корректно обработаны реализованным алгоритмом:

$$\left(\left(\frac{\frac{\Delta_{\text{диап}}}{\varepsilon_{\text{треб}}} + M_{\text{доп}}(\text{алг})}{l_{\text{max}}} + 1 + N_{\text{расх}}^{\text{муп}}(\text{алг}) \right) o(\text{алг}) + N_{\text{расх}}^{\text{алд}}(\text{алг}) \right) l_{\text{max}}(\text{алг}) t_0 \leq t_{\text{обр}}$$

$$\frac{W_{\text{итер}}(\text{алг}) l_{\text{max}}(\text{алг}) t_0}{L_{\text{конв}}(\text{алг})} \leq t_{\text{вх}}.$$

Данная методика позволяет произвести сравнение реализаций алгоритмов обработки между собой с целью выбрать наиболее эффективного для заданных условий.

Во второй главе производится разработка оптимальных алгоритмов обнаружения сигналов и оценки их фазо-частотных параметров. Показано, что для синтеза обнаружителя, целесообразно произвести переход из амплитудно-временной области сигнала в фазо-временную в связи с возможностью устранить влияние параметров приемных трактов (абсолютных уровней шумов и сигналов) и перейти к относительным параметрам (отношение сигнал-шум). При этом плотность распределения вероятности (ПРВ) отсчета оценки фазы смеси сигнала и шума в фиксированном временном срезе будет описываться, как

$$W_{\varphi}(\varphi) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{q^2}{2}} + \frac{q}{\sqrt{2\pi}} \cos(\varphi - \varphi_0) e^{-\frac{q^2}{2} \sin^2(\varphi - \varphi_0)} \frac{1 + \operatorname{erf}\left(q \frac{\cos(\varphi - \varphi_0)}{\sqrt{2}}\right)}{2}$$

Показано, что при росте отношения сигнал-шум до уровней, на которых целесообразно производить измерения (согласно исследованиям, произведенным в главе 1), ПРВ можно приближенно описать нормальным распределением. Тогда совместная ПРВ выборки отсчетов оценки фазы будем иметь вид

$$W(\bar{\varphi}) = \prod_i \frac{q}{2\sqrt{\pi}} e^{-\frac{q^2}{4} \left(\varphi_i - 2\pi \frac{f_{\text{д}}}{f_{\text{с}}} i - \varphi_0 \right)^2}$$

Исходя из этого, произведен синтез алгоритма обнаружения сигнала по критерию Неймана – Пирсона.

Также на основе этого перехода с помощью критерия максимума правдоподобия разработан алгоритм оценки средней частоты спектра для сигналов без фазовой модуляции:

$$f_j = \frac{1}{2\pi T_d} \frac{\sum_i i \sum_j \phi_{i,j} - \sum_i i \phi_{i,j}}{\left(\sum_i i \right)^2 - \sum_i i^2}$$

Были получены формулы дисперсии оценки частоты:

$$D_{\hat{f}} = D_{\varphi} \frac{1}{(2\pi T_d)^2} \frac{36N^3 + 36N^2 + 48N + 24}{9N^6 + 3N^5 - 17N^4 - 7N^3 + 8N^2 + 4N}$$

Показано, что

$$\lim_{N \rightarrow \infty} D_{\hat{f}} = \frac{1}{(2\pi T_d)^2} \frac{4}{q^2 N^3}$$

И произведено сравнение с минимальной дисперсией по Крамеру - Рао (в соответствии с исследованиями в главе 1).

Был разработан алгоритм оценки начальной частоты и девиации для сигналов с линейной и куполообразной частотной модуляцией.

Наклон частотно-временной характеристики и начальную частоту для линейной модуляции предлагается оценивать с помощью выражений:

$$f = \frac{A_2^2 B_2 - A_2 A_2 B_3 - A_2 A_4 B_1 + 2 A_3 A_4 A_5 B_1 + 2 \pi A_4 A_4 B_3 - 4 \pi A_3 A_5 B_2}{A_2^3 - A_1 A_2 A_4 + 2 A_1 A_3 A_5 - A_2 A_3 A_4 + 2 \pi A_4 A_4^2 - 4 \pi A_2 A_3 A_5}$$

$$\frac{F}{T} = \frac{2 A_2^2 B_1 - 2 A_1 A_2 B_2 + 2 A_1 A_2 B_3 - 2 A_3 A_4 B_1 - 4 \pi A_2 A_3 B_3 + 4 \pi A_3 A_4 B_2}{A_2^3 - A_1 A_2 A_4 + 2 A_1 A_3 A_5 - A_2 A_3 A_4 + 2 \pi A_4 A_4^2 - 4 \pi A_2 A_3 A_5},$$

где

$$A1 = 2\pi \sum_i t_i, \quad A2 = 2\pi \sum_i t_i^2, \quad A3 = N, \quad A4 = 2\pi \sum_i t_i^3, \quad A5 = 2\pi \sum_i t_i^4$$

$$B1 = \sum_i \varphi_i, \quad B2 = \sum_i t_i \varphi_i, \quad B3 = \sum_i t_i^2 \varphi_i$$

Для куполообразной частотной модуляции оценку параметров предложено выполнять по следующим формулам:

$$\begin{pmatrix} \sum_i t_i^6 & \sum_i t_i^5 & \sum_i t_i^4 & \sum_i t_i^3 \\ \sum_i t_i^5 & \sum_i t_i^4 & \sum_i t_i^3 & \sum_i t_i^2 \\ \sum_i t_i^4 & \sum_i t_i^3 & \sum_i t_i^2 & \sum_i t_i \\ \sum_i t_i^3 & \sum_i t_i^2 & \sum_i t_i & N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ \varphi_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_i \hat{\varphi}_i t_i^3 \\ \sum_i \hat{\varphi}_i t_i^2 \\ \sum_i \hat{\varphi}_i t_i \\ \sum_i \hat{\varphi}_i \end{pmatrix},$$

где

$$t_{1/2} = -\frac{b}{3a}, \quad f_0 = c - \frac{b^2}{3a}, \quad F = \frac{b^2}{3a}.$$

Синтезирован алгоритм обнаружения частотной модуляции на основе выбранной решающей статистики – выборочной дисперсии фазы сигнала, и использовании критерия максимума правдоподобия.

Также с использованием набег фазы сигнала синтезирован алгоритм обнаружения фазовой манипуляции сигнала и оценки величины скачка при неизвестной длительности переходного процесса и длительности парциального импульса.

Алгоритм построен по адаптивной схеме оценки средней частоты в стабильной области парциального импульса, и накопления отклонений прогнозируемой фазы от реальной фазы сигнала. Структура алгоритма представлена на рисунке.

Рассмотрены существующие алгоритмы пеленгации, указаны недостатки алгоритма, использующего синтез диаграммы направленности, связанные с необходимостью численного решения получающихся уравнений переборным методом. В соответствии с этим произведен синтез совместного алгоритма пеленгации, использующего синтез диаграммы для коррекции быстрого метода «отождествления пеленга», что позволяет ускорить решение в несколько раз.

В третьей главе описана программная модель принимающей системы цифровой обработки. Обосновывается необходимость построения программной модели с возможностью замены любого из программных модулей на реальный

аппаратный объект. Рассмотрены принципы построения подобных моделей с использованием модульно-канальной архитектуры программного обеспечения и использования процессов.

Модель реализует основные логические блоки систем пассивной радиолокации – модель источника сигнала, модель высокочастотного тракта, модель подсистемы оцифровки, модель алгоритмической цифровой части первичной и вторичной обработки.

Модель высокочастотного тракта построена на основе структуры классических принимающих систем с использованием двух промежуточных частот.

Модель сигнала позволяет создать сигнал с произвольной огибающей, видом модуляции и фазовых параметров, при этом может быть произведена замена на аппаратный модуль оцифровки, либо на файл, содержащий оцифрованную информацию. Оцифрованные данные поступают в итоге на вход совместного алгоритма.

Было произведено имитационное моделирование, результаты которого показали совпадение результатов моделирования с теоретическими предположениями, сделанными в главе 2. Результаты представлены на рисунке 1.

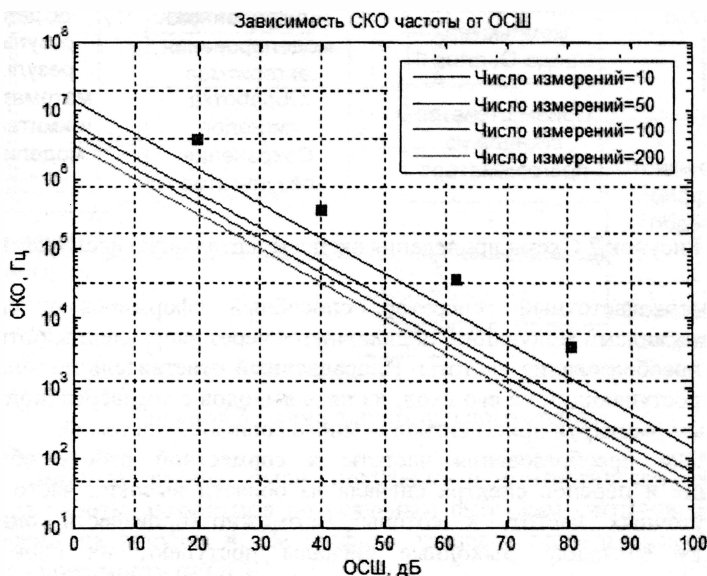


Рисунок 1 Результаты имитационного моделирования работы алгоритмов

В четвертой главе приведена и обоснована структура экспериментальной установки. Экспериментальная установка построена на базе платы с двумя программируемыми логическими схемами и шестью каналами оцифровки и ввода данных.

Эксперимент проводится в двух вариантах – с записью оцифрованных данных и вводов в программу моделирования, описанную в главе 3, и

получения результатов обработки. Эксперимент проводится по схеме, изображенной на рисунке 2.



Рисунок 2 Схема проведения экспериментального исследования

Высокочастотный генератор, способный сформировать сигналы со сложными видами модуляции, подключается через направленный ответитель к блокам преобразования частоты. Направленный ответитель позволяет выдать сигнал, поступающий на его вход, на пять выходов с согласованной нагрузкой, тем самым имитируя прием сигналов многоканальной системой.

Блоки преобразования частоты в совместной работе обеспечивают выделение и перенос спектра сигнала из области высоких частот в область промежуточных частот, в которых возможно произвести оцифровку и обработку сигналов. Выходные сигналы поступают на блок цифровой обработки, где происходит усиление и оцифровка сигнала.

Оцифрованный сигнал поступает на ПЛИС, которая по сигналу от программатора начинает записывать отсчеты сигнала в DDR память, тем самым позволяя сделать запись выборки, равной $512 \text{ Мбит} / 10 \text{ бит} / 5 \text{ каналов} = 10240000$ отсчетов, что соответствует 51,2 мс по времени в абсолютной шкале.

По второму сигналу от программатора, персональный компьютер, на котором установлена среда разработки и отладки программного обеспечения

для ПЛИС начинает читать данные с помощью программатора из памяти, подключенной к ПЛИС. Прочитанные данные записываются в файл.

При этом производится запись нескольких выборок сигнала с одинаковыми параметрами, записанные выборки сохраняются в файл, после чего производится их совместная обработка для получения статистических характеристик входных сигналов и достигнутых результатов. После чего происходит изменение одного из параметров сигнала в соответствии с выбранным шагом. После достижения выбранных границ по изменению заданного параметра, производится обработка сигнала и получение и сохранение результатов статистического анализа. После этого производится изменение выбранного параметра, после чего цикл повторяется вновь. После завершения полного цикла анализа, производится определение общей статистики и сравнение ее с результатами численного эксперимента.

Вторая схема включения идентична первой, но передача идет не напрямую в тракт через ответитель, а по эфиру.

С использованием этих схем был разработан экспериментальный стенд, структурная схема которого приведена на рисунке 3.



Рисунок 3 Схема испытательного стенда

С помощью стенда были получены и статистически обработаны результаты работы алгоритмов по реальным выборкам сигналов. Результаты представлены на рисунке 4. На графике приведен пример оценки точности частоты в зависимости от ОСШ.

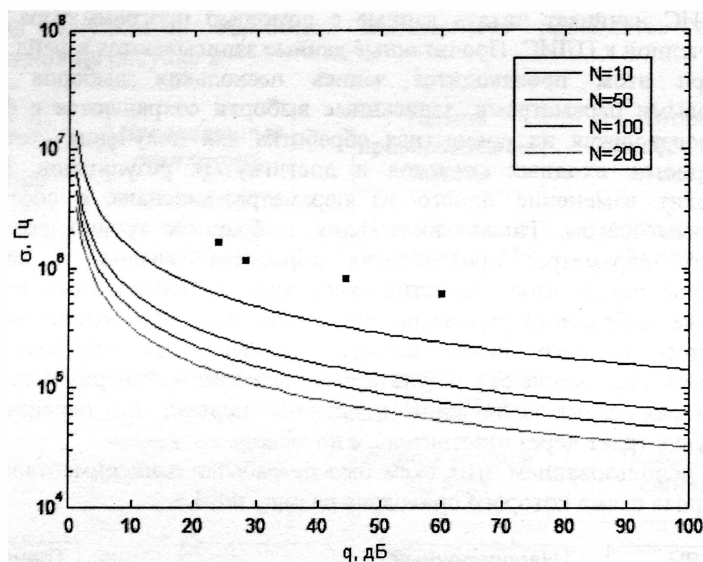


Рисунок 4 Результаты экспериментального исследования работы алгоритмов с использованием разработанного стенда

Проведено сравнение и сделан вывод о совпадении результатов численного, экспериментального моделирования и теоретического предсказания.

Основные результаты работы и выводы

1. Исследована потенциальная точность оценки фазо-частотных параметров сигналов по критерию Крамера – Рао на основе информации Фишера.
2. Разработана методика оценки эффективности использования алгоритмов, предназначенных для цифровой обработки сигналов в многоканальных системах пассивной радиолокации.
3. Разработаны алгоритмы обнаружения сигналов и оценки фазо-частотных параметров для систем пассивной радиолокации, оптимальные по критериям Неймана-Пирсона и максимума правдоподобия.
4. Разработана имитационная модель системы пассивной радиолокации с использованием разработанных алгоритмов.
5. Проведено имитационное моделирование прохождения модельного сигнала, прошедшего через тракт обработки в имитационной модели.
6. Создана экспериментальная установка на основе программируемых логических микросхем, и проведено экспериментальное моделирование работы алгоритмов
7. Результаты работы внедрены в ОКР «Фракция» и ОКР «Антракт», а также в учебный процесс и НИР кафедры СМ-5 МГТУ им. Н. Э. Баумана

Список научных работ

1. Силин С.И., Мухина И.А., Коновалов А.В. Моделирование многомодульной системы обработки сигналов, работающей в реальном времени // Будущее машиностроения России.: Сборник трудов Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. Москва. 2008. С. 240-242.
2. Некоторые вопросы применения программируемых устройств в современных системах вооружения и военной техники / С.И. Силин [и др.] // Оборонная техника, 2010. 1-2 . С. 31-46.
3. Силин С.И. Методы анализа и выбора алгоритмов для бортовых систем // Будущее машиностроения России: сб. тр. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов Москва, 2010. С. 228-231.
4. Жураковский В.Н., Силин С.И. Реализация вычислительных операций в цифровых устройствах бортовых систем // Проектирование систем: Материалы XXXVII Всероссийской научно-технической конференции. Москва, 2010. С. 115-116
5. Автономные информационные и управляющие системы; В 4 т./ А.Б. Борзов [и др.]; Под ред. А.Б. Борзова М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2011. Т. 5. С. 271-286.
6. Бортовой вычислитель координат радиотехнических объектов / С.И. Силин [и др.] // Проектирование систем: Материалы XXXIX Всероссийской научно-технической конференции. Москва, 2012. Т. 1. С. 61-62
7. Жураковский В.Н., Силин С.И. Бортовой многоканальный обнаружитель импульсных радиосигналов // Проектирование систем: Материалы XXXIX Всероссийской научно-технической конференции. Москва, 2012. Т.1. С. 56-58

8. Фундаментальные проблемы создания автономных информационных и управляющих систем (АИУС). Математическое моделирование и оптимизация характеристик АИУС: Промежуточный ТО по НИР «Кедр-5» / Борзов А.Б., [и др.] Рук. темы Хохлов В.К. ГР № 01200964825 Инв. № 02201053774М. 2010, 150 с.