

Никифоров Александр Александрович

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ
НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ**

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

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**



Москва – 2014

Научный руководитель: **Сидоркина Юлия Анатольевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры автономных информационных и управляющих систем МГТУ им. Н.Э. Баумана

Официальные
оппоненты: **Чернояров Олег Вячеславович**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры Радиотехнических приборов НИУ МЭИ

Черныш Александр Викторович, кандидат технических наук, начальника отдела цифровой обработки сигналов ЗАО «Телум»

Ведущая организация: ОАО «Корпорация «Фазотрон-НИИР», г. Москва, Электрический пер., д.1.

Защита диссертации состоится 27 января 2015 г. в 14 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.141.02 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана» по адресу: 105005, Москва, Госпитальный пер., д. 10, ауд. 613м.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте www.bmstu.ru и в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

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

Автореферат разослан ____ ноября 2014г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

к.т.н., доц.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



2066730

Никифоров А.А. Идентификац

Муратов И.В.

20.01.15

Актуальность работы

Диссертационная работа Никифорова Александра Александровича посвящена проблеме оценки информационных параметров в системах с кодовым разделением каналов (в англоязычной литературе CDMA - code division multiple access). Технология CDMA получила широкое распространение в современных стандартах цифровой связи и продолжает активно развиваться. Она позволяет добиваться высокой спектральной и энергетической эффективности, высокой помехозащищенности, позволяет эффективно бороться с многолучевым распространением радиоволн. Перспективным применением технологии CDMA являются устройства управления и передачи информации в системах связи и навигации, таких как Skylink и Navstar GPS.

Наряду с очевидными достоинствами, CDMA-системы обладают рядом существенных недостатков. К ним можно отнести: на приемной стороне при решении задачи идентификации источника сигнала необходимо рассматривать двумерную область неопределенности при отсутствии априорных данных для каждого источника, низкое разрешение при оценке информационных параметров сигнала при типовом подходе к решению данной задачи.

Проблемам оценивания информационных параметров сигнала в системах передачи информации посвящены работы как отечественных, так и зарубежных исследователей. В России в данной области работают: В.И. Борисов, В.Б. Пестряков, В.И. Журавлев, М.И. Жодзишский, Б.И. Шахтарин, Л.Е. Варакин, В.Е. Гантмахер. Среди зарубежных исследователей в этой области необходимо отметить работы Дж. Спилкера, М.К. Саймона, Дж.К. Омура, Д.Дж. Торьери, Дж. Прокиса, Дж. Цуя, Э. Каплана. Используемые современными исследователями типовые алгоритмы имеют потенциал совершенствования как в вопросах увеличения точности оценок информационных параметров сигнала, так и в вопросах уменьшения вычислительной сложности. Помимо этого, следует отметить, что развитие современной элементной базы привело к появлению дешевых цифровых процессоров, оснащенных модулем для вычислений с плавающей точкой, а также распространению программных приемников, работающих на аппаратном обеспечении общего назначения. Это делает возможным применение новых подходов к обработке информационных сигналов систем с CDMA в реальном времени, вместо использовавшейся отложенной обработки данных, и данная тема является актуальной.

Цель и задачи диссертации

Целью диссертационной работы является разработка и анализ алгоритмов оценки информационных параметров сигнала в системах с CDMA на основе параметрического метода оценки частоты на фоне

аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ) и интерференционной помехи, с возможностью реализации на современной элементной базе.

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие задачи:

1. Разработка алгоритма оценки информационных параметров для одного источника сигнала в CDMA-системах на фоне АБГШ с использованием методов параметрической идентификации.
2. Адаптация и усовершенствование итеративного алгоритма вычисления оценки автокорреляционной функции (АКФ) для использования при обработке CDMA-сигнала в приемниках реального времени.
3. Разработка комплексированного алгоритма оценки информационных параметров CDMA-сигнала на фоне АБГШ и интерференционной помехи, основанного на алгоритмах Delay and Multiply Approach (DMA), а также усовершенствованном алгоритме итеративной оценки автокорреляционной функции и авторегрессионной (АР) модели второго порядка.
4. Сравнительный анализ разработанных алгоритмов с типовыми решениями в области оценки информационных параметров сигнала используемых в CDMA-системах.
5. Полунатурное моделирование с использованием оригинальной аппаратной платформы на реальных данных CDMA-системы Navstar GPS, а также полунатурное моделирование на данных, полученных из внешних источников.

Научная новизна результатов

1. На основе теории параметрической идентификации автором разработан алгоритм оценки информационных параметров сигнала в CDMA-системах.
2. Предложен алгоритм компенсации окрашенного шума на основе итеративного вычисления АКФ для получения несмещенной оценки частоты с использованием параметрического метода оценки спектра.
3. Предложен усовершенствованный итеративный алгоритм вычисления оценки АКФ в базисе Фурье для использования в приемниках реального времени.
4. Предложен способ комплексирования алгоритмов оценки фазы псевдослучайной последовательности (ПСП) DMA, усовершенствованного алгоритма итеративного вычисления оценки АКФ и параметрического метода оценки спектра в задаче оценки информационных параметров сигнала в CDMA-системах.

Практическая ценность

1. Усовершенствован итеративный алгоритм вычисления оценки АКФ. Оптимизация вычислительных затрат позволяет использовать данный усовершенствованный алгоритм в приемниках реального времени.
2. Усовершенствованный алгоритм итеративного вычисления оценки АКФ позволяет повысить ОСШ при оценке АКФ, а также снизить влияние окрашенного шума на точность оценки частоты при использовании AP модели.
3. Разработанный комплексированный алгоритм оценки информационных параметров CDMA-сигнала позволяет существенно снизить вычислительные затраты.
4. Созданный программно-аппаратный стенд для экспериментального исследования систем цифровой связи с использованием технологии CDMA позволяет подтвердить практическую реализуемость разработанных алгоритмов.

Апробация результатов

Результаты диссертации прошли апробацию на 7-ой Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь» (Москва 2013 г.); Международной конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий - РЕС-2013» (Москва 2013 г.); V Международной студенческой научно-практической конференции «Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания» (Новосибирск 2011 г.).

Внедрение результатов работы:

1. Результаты диссертации внедрены в экспериментальном программно-аппаратном обеспечении филиала «Самсунг Электроникс Ко., Лтд», что подтверждено актом о внедрении.
2. Результаты диссертации использованы в НИР «Фундаментальные проблемы создания АУИС», шифр «КЕДР-5», ГРН: 01200964825.
3. Результаты диссертации использованы в учебном процессе на кафедрах «Автономные информационные и управляющие системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, и «Управление и моделирование систем» Московского Государственного Университета Приборостроения и Информатики, что подтверждено актами об использовании.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем составляет 139 страниц, включающих 24 страницы приложения, 51 рисунок, 5 таблиц и список литературы из 66 наименований.

Положения, выносимые на защиту

1. Алгоритм оценки информационных параметров CDMA-сигнала на фоне АБГШ на основе АР-модели принимаемого сигнала.
2. Усовершенствованный итеративный алгоритм вычисления оценки АКФ для повышения ОСШ и подавления интерференционной помехи в задаче оценки информационных параметров CDMA-сигнала.
3. Комплексованный алгоритм оценки информационных параметров CDMA-сигнала на фоне интерференционной помехи и шума на основе алгоритмов: DMA, усовершенствованного итеративного алгоритма вычисления оценки АКФ и АР-модели принимаемого сигнала.
4. Результаты анализа точности, вычислительных затрат разработанных алгоритмов, а также сравнительный анализ с типовыми алгоритмами.

Публикации по теме диссертации

Основные результаты работы получены Никифоровым А.А. самостоятельно и изложены в 8 научных работах, в том числе 4-х статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ и 3-х докладах на международных конференциях.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и ее практическая значимость, сформулированы цель и задачи исследования, проведен критический анализ работ в области синтеза и анализа систем оценивания информационных параметров CDMA-систем.

В первой главе ставится и решается задача разработки алгоритма оценки информационных параметров для одного источника сигнала в CDMA-системах на фоне АБГШ с использованием методов параметрической идентификации.

Математическую модель входной смеси CDMA-сигнала с двоичной фазовой модуляцией на приемной стороне можно представить как:

$$x(t) = \sum_{k=1}^N A_k d_k(t) g_k(t) \cos(\omega_k t + \varphi_k(t)) + n(t), \quad (1)$$

где k - относительный номер источника сигнала, N - количество доступных источников сигнала в зоне приема ($N=1$), модулированных цифровыми псевдослучайными последовательностями (ПСП) одного семейства, A_k - амплитуда несущей, ω_k - промежуточная частота, $d_k(t)$ - информационная последовательность, $g_k(t)$ - ПСП последовательность, $\varphi_k(t)$ - случайная начальная фаза, учитывающая доплеровское смещение частоты, $n(t)$ - АБГШ.

Информационная последовательность $d_k(t)$ и ПСП последовательность $g_k(t)$ представляют собой потоки антиподных импульсов.

После оцифровки и повторного модулирования входной смеси (1), содержащей один источник информации, с ПСП в данном случае получается:

$$x_k(m) = A_k \cos(\tilde{\omega}_k m + \varphi_k(m)) + n_k(m), \quad (2)$$

где m – параметр, соответствующий времени, $\tilde{\omega}_k$ – нормированная частота, соответствующая ω_k , $n_k(m)$ – шум $n(t)$, умноженный на ПСП.

Для восстановления гармонического сигнала входную смесь необходимо повторно модулировать ПСП с учетом правильной оценки фазы ПСП. В реальных условиях приемник не имеет информации о фазе ПСП, поэтому для оценки промежуточной частоты сигнала необходимо перебрать все возможные значения фазы ПСП. Для снижения вычислительных затрат предлагается использовать алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). Схема алгоритма представлена на Рис. 1.

Оценка АКФ $\hat{r}_{xx}(0)$ не зависит от выбранной фазы ПСП, поэтому она вычисляется один раз для всех фаз ПСП. Далее формируется массив произведений входной смеси на свою задержанную копию $\tilde{x}_1(m) = x(m)x(m-1)$. Полученная последовательность $\tilde{x}_1(m)$ поступает на вход алгоритма БПФ, в результате получаем массив $\tilde{X}_1(m)$. Аналогично формируется массив $\tilde{X}_2(m)$ для задержки входной смеси равной двум тактам. Таким же способом обрабатываются локально сгенерированные ПСП и формируются два массива $\tilde{G}_1(m)$ и $\tilde{G}_2(m)$. Далее массивы $\tilde{X}_1(m)$ и $\tilde{X}_2(m)$ поэлементно перемножаются на массивы $\tilde{G}_1^*(m)$ и $\tilde{G}_2^*(m)$, комплексно сопряженные к массивам $\tilde{G}_1(m)$ и $\tilde{G}_2(m)$. Результаты этих перемножений поступают на вход алгоритма обратного БПФ (ОБПФ). Полученные после ОБПФ два массива содержат оценки АКФ для N фаз ПСП, где N – размер данных на входе алгоритма БПФ.

Таким образом, предлагаемый алгоритм состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Вычисляются оценки АКФ в трех первых точках (для аргументов АКФ=0,1,2) с использованием алгоритма БПФ для всех возможных смещений ПСП.

Шаг 2. Для каждого смещения ПСП: определяются коэффициенты АР-модели $\hat{a}_1, \hat{a}_2$, вычисляется резонансная частота $\hat{\omega}_k$, являющаяся оценкой промежуточной частоты ω_k , и определяется квадрат модуля частотного отклика АР-модели для этой частоты.

Шаг 3. Выбирается смещение ПСП для которого значение квадрата модуля частотного отклика было максимальным. Полученное значение сравнивается с заранее выбранным порогом детектора.

Если значение оказалось больше порогового, то принимается решение о наличии сигнала, а в качестве оценки частоты принимается значение $\hat{\omega}_k$, соответствующее выбранному смещению ПСП.

Иначе принимается решение об отсутствии гармонического сигнала.

Разработанный алгоритм позволяет производить оценку частоты гармонического сигнала без использования прямого перебора по частоте, как это делается в большинстве современных алгоритмов. Например, алгоритм Delay and Multiply Approach позволяет производить поиск только по фазе ПСП, но он не дает возможности прямой оценки частоты. Предложенный алгоритм допускает сокращение количества операций умножения при переборе значений фазы ПСП за счет использования алгоритма БПФ.

Основным недостатком предложенного алгоритма является сильная чувствительность по отношению к интерференционным помехам - межканальной интерференции (МКИ): наличие «окрашенного» шума в рабочей полосе приводит к значительному смещению получаемых оценок информационных параметров.

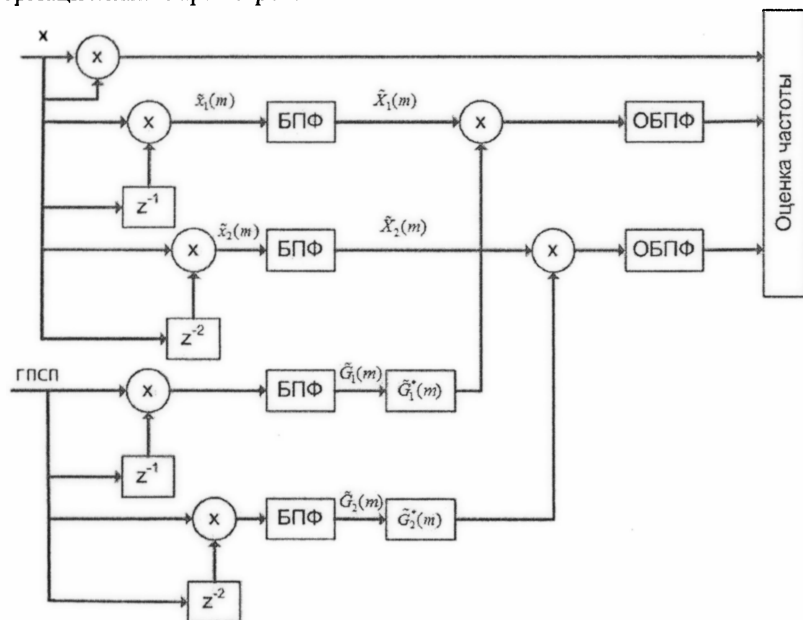


Рис.1. Общая схема применения АР модели для детектирования ШПС сигнала

Количество операций для оценки информационных параметров от одного источника на фоне АБГШ: $OP_{AR_FOR_1} = 24N \log N + 63N$, где N – длина входной последовательности.

График вероятности оценки частоты в допустимом диапазоне входной расстройки модуля фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) представлен на Рис. 2. Моделирование проводилось с АБГШ, заданным в полосе от 0 Гц до половины частоты дискретизации, для одного источника. В данном случае значение частоты дискретизации равно 16.368 МГц.

Для оценки точности оценки частоты предлагаемый алгоритм сравнивался с границей Крамера-Рао (КР) (Рис. 3). Неравенство Крамера-Рао дает базу оценки, так как представляет минимальную дисперсию оцениваемой величины среди всех классов оценщиков.

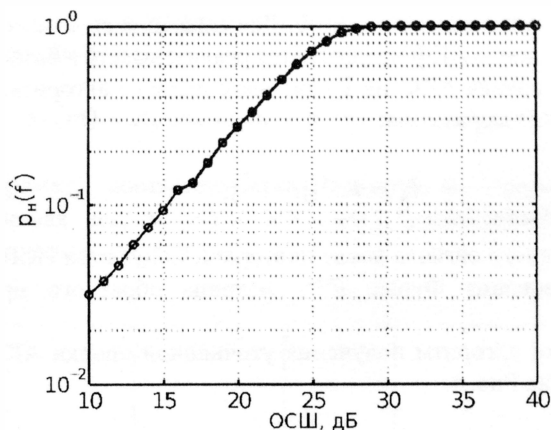


Рис. 2. Вероятность нахождения оценки частоты в интервале ± 18 Гц, удовлетворяющем допустимой входной расстройке ФАПЧ

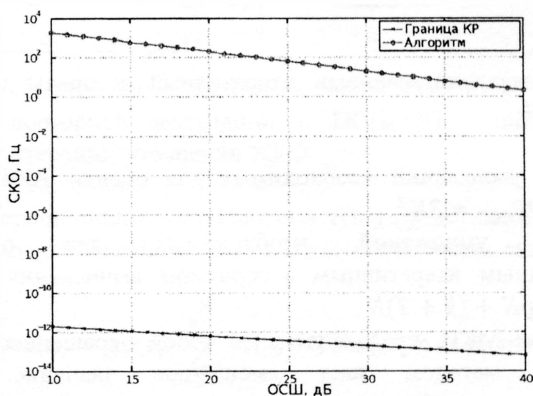


Рис. 3. СКО оценки частоты

Во второй главе выполнен синтез усовершенствованного итеративного алгоритма вычисления оценки АКФ в базисе Фурье. Для верификации синтезированного алгоритма проведено имитационное моделирование.

Точность АР метода напрямую зависит от точности оценки АКФ гармонического сигнала. Существует несколько способов компенсации шума для АР анализа. Основным способом повышения точности оценки АКФ является увеличение размера выборки, что в случае фазомодулированного (ФМ) сигнала может быть затруднительным.

В данной работе предлагается использовать алгоритм увеличения ОСШ методом итеративного вычисления АКФ. Для снижения вычислительных затрат итеративное вычисление АКФ предлагается реализовывать в базисе Фурье.

Уточненная оценка АКФ на k -ом шаге данного алгоритма может быть получена с помощью выражения:

$$\hat{r}_k = F^{-1}[|Fx|^{2^k}], \quad (4)$$

где x – вектор входного сигнала после повторной модуляции ПСП, F – матрица прямого преобразования Фурье, F^{-1} – матрица обратного преобразования Фурье.

Схематически алгоритм получения уточненной оценки АКФ на третьем шаге представлен на Рис. 4.

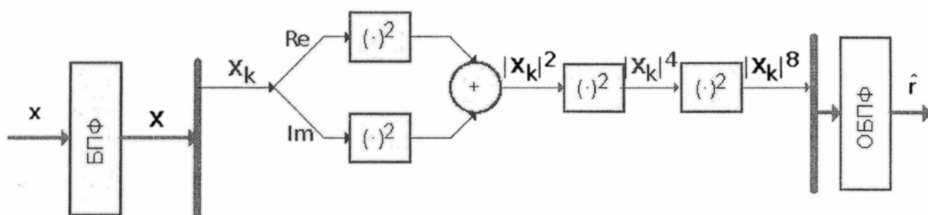


Рис. 4. Усовершенствованный итеративный алгоритм получения АКФ

Количество умножений необходимых для оценки АКФ при помощи прямого метода: $OP_{ACF} = 3N^2$.

Количество умножений необходимых для оценки АКФ усовершенствованным итеративным алгоритмом вычисления оценки АКФ: $OP_{ACF_FFT} = 8N \log N + (k + 2)N$.

При наличии МКИ, представляющей собой окрашенный шум, оценка параметрическим методом даст смещенное значение. Применение усовершенствованного алгоритма итеративного вычисления АКФ позволяет получить ярко выраженный пик в спектральной области, а СПМ приобретает симметричный вид, что позволяет использовать АР модель второго порядка для

получения несмещенной оценки частоты CDMA-сигнала. После трех итераций предлагаемого алгоритма пик, соответствующий гармонической компоненте, существенно вырастает (Рис. 5).

В третьей главе решается задача разработки комплексированного алгоритма оценки информационных параметров CDMA-сигнала на фоне АБГШ и МКИ. Данный комплексированный алгоритм основан на алгоритме Delay and Multiply Approach, усовершенствованном итеративном алгоритме вычисления оценки АКФ и АР-модели второго порядка. При наличии нескольких источников CDMA-сигнала в смеси присутствует помеха в полосе сигнала. После оцифровки и повторного модулирования входной смеси (1) с ПСП в данном случае получается:

$$x_k(m) = A_k \cos(\tilde{\omega}_k m + \varphi_k(m)) + n_k(m) + i(m), \quad (5)$$

где m – параметр, соответствующий времени, $\tilde{\omega}_k$ – нормированная частота, соответствующая ω_k , $n_k(m)$ – шум $n(t)$, умноженный на ПСП, $i(m)$ – интерференционная помеха.

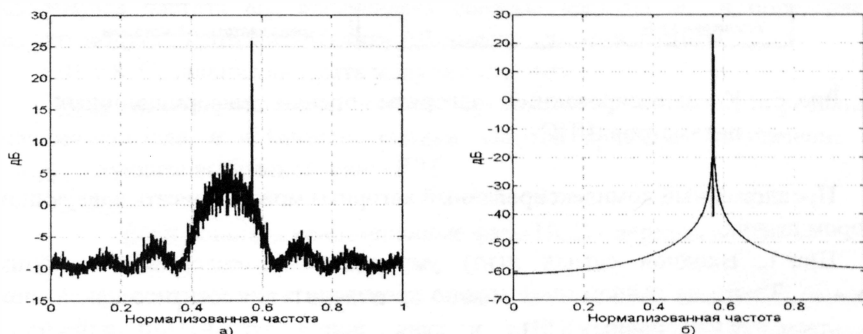


Рис. 5. Спектральная плотность мощности: а) - сигнал после повторной модуляции с ПСП; б) - сигнал после 3 итерации уточнения АКФ

Интерференционная составляющая $i(m)$ представляет сигнал от других источников, модулированный ПСП искомого источника сигнала:

$$i(m) = g_k(t) \sum_{i=1, i \neq k}^N A_i g_i(t) \cos(\tilde{\omega}_i m + \varphi_i(m)). \quad (6)$$

Комплексированный алгоритм оценки информационных параметров CDMA-системы структурно изображен на Рис. 6.

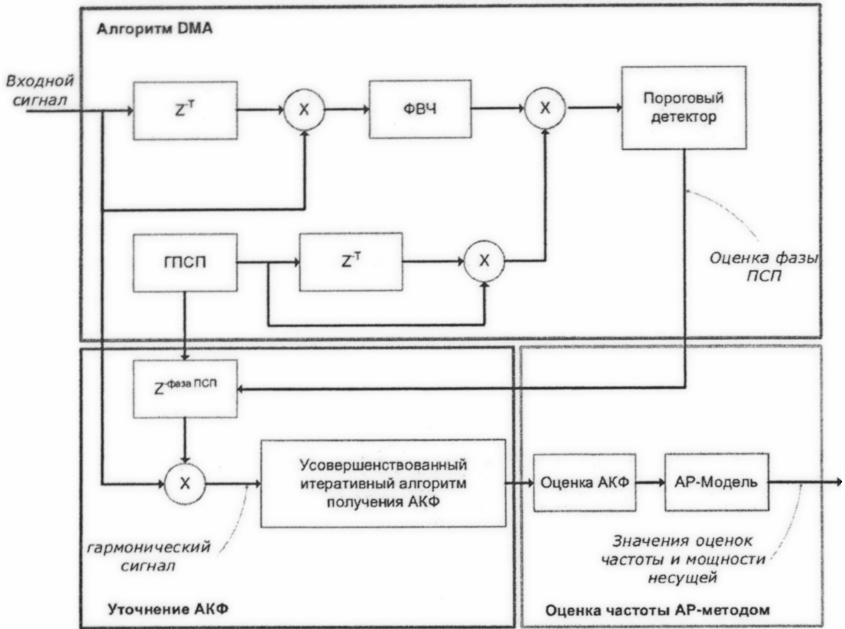


Рис. 6. Комплексированный алгоритм оценки информационных параметров ШПС

Предложенный комплексированный алгоритм можно описать следующим набором шагов:

Шаг 1. Входной сигнал $x(m)$ умножается на задержанную копию $x(m - \tau)$. Также на данном шаге можно производить когерентное накопление результата, для увеличения ОСШ

$$x_{new}(m) = \frac{g_{new}(m)}{2} (\cos(2\pi f\tau) - \cos[2\pi f(2m - \tau)]).$$

Шаг 2. Полученный сигнал $x_{new}(m)$ фильтруется ФНЧ для отсекающей высокочастотной компоненты.

Шаг 3. Генерируется локальная ПСП $g(m)$ и умножается на задержанную копию $g(m - \tau)$

$$g_{new}(m) = g(m)g(m - \tau).$$

Шаг 4. Отфильтрованный сигнал $x_{filt}(m)$ коррелируется с новой ПСП $g_{new}(m)$ с использованием БПФ

$$x_{filt}(m) = \frac{g_{new}(m)}{2} \cos(2\pi f\tau).$$

Выход коррелятора сравнивается с заранее определенным порогом.

Если значение оказалось больше порогового то, принимается решение о наличии сигнала. Полученное значение фазы ПСП - k запоминается. Перейти на шаг 5.

Иначе Выбирается N максимальных значений и запоминаются их фазы ПСП.

Шаг 5. Входная смесь модулируется ПСП $g(m - k)$, где k - оценка фазы ПСП. В результате получаем гармонический сигнал $x_{cos}(m)$ с неизвестной частотой.

Шаг 6. Для увеличения ОСШ сигнала $x_{cos}(m)$ вычисляется уточненное значение АКФ при помощи усовершенствованного итеративного алгоритма вычисления оценки АКФ.

Шаг 7. Определяются коэффициенты АР-модели $\hat{a}_1, \hat{a}_2$. Вычисляется резонансная частота $\hat{\omega}_k$, являющаяся оценкой частоты $\hat{\omega}_k$, и определяется квадрат модуля частотного отклика АР-модели для этой частоты.

Шаг 8. Сравнение квадрата модуля с порогом.

Если значение оказалось больше порогового, то принимается решение о наличии сигнала, а в качестве оценки частоты принимается значение $\hat{\omega}_k$, соответствующее выбранной фазе ПСП.

Иначе

Если остались непроверенные фазы ПСП - переход на шаг 5.

Иначе сигнал не обнаружен.

График вероятности оценки частоты в допустимом диапазоне входной расстройки ФАПЧ для одной, двух и трех итераций уточнения АКФ представлен на Рис. 7. Моделирование проводилось с аддитивным шумом, заданным в полосе от 0 Гц до половины частоты дискретизации для одного, двух и трех шагов уточнения АКФ. В данной имитационной модели значение частоты дискретизации равно 16.368 МГц.

Так же в работе проводилось сравнение качества оценки частоты. График СКО ошибки при оценке частоты в зависимости от ОСШ представлен на Рис. 8. Для сравнения также взята граница КР.

Единственным ограничением является наличие только одной гармонической компоненты в принимаемом сигнале.

Общее количество умножений, необходимых для оценки информационных параметров CDMA-сигнала от одного источника

предлагаемым алгоритмом (количество итераций в алгоритме уточнения АКФ равно 3): $OP_{DMA_ACF_AR} = 16N\log N + 11N + 51$.

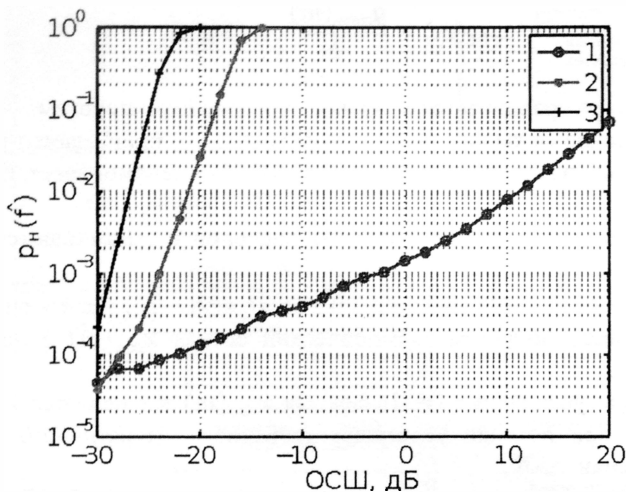


Рис. 7. Вероятность нахождения оценки частоты в интервале, удовлетворяющем допустимой входной расстройке ФАПЧ ± 18 Гц, комплексированного алгоритма для 1,2 и 3 итераций уточнения АКФ

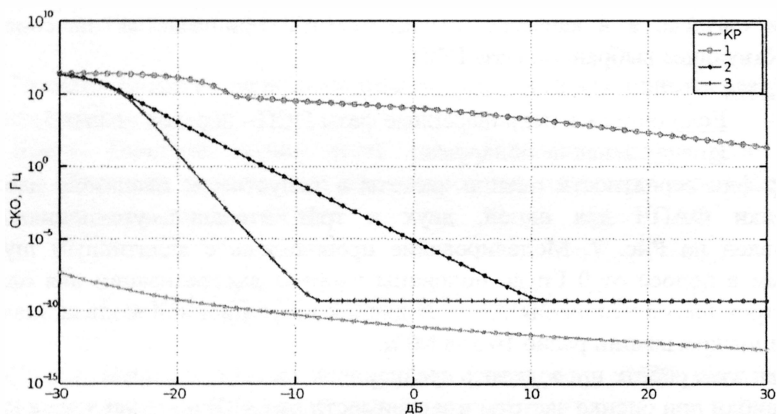


Рис. 8. СКО ошибки оценки частоты для предлагаемого комплексированного алгоритма: КР – граница Крамера-Рао; 1, 2, 3 - 1,2 и 3 итерации уточнения АКФ соответственно

Количество итераций требуемых для оценки частоты одного источника параллельным коррелятором: $OP_{CORR} = 48N\log N + 65N$. Для оценки частоты

берется входная последовательность равная 1 мс, что позволяет получить точность 1 кГц, шаг одной итерации выбран в 1 кГц.

Предлагаемый подход обладает существенно лучшими характеристиками с точки зрения вычислительных затрат в сравнении с параллельным коррелятором, вместе с тем, точность оценки информационных параметров у предлагаемого алгоритма ниже.

В четвертой главе описывается и приводятся результаты полунатурного эксперимента по проверке рабочих характеристик предложенного комплексированного алгоритма оценки информационных параметров CDMA-сигнала на фоне АБГШ и МКИ. Эксперимент проводился на оригинальной, разработанной автором, программно-аппаратной платформе. В качестве микросхемы блока захвата CDMA-сигнала в оригинальной аппаратной платформе использовался чип от компании Maxim Semiconductor - MAX2769. Программная часть была реализована в математическом пакете MATLAB. Длина записи, получаемой с данной платформы для постобработки, составляет 32 мс. Этого объема данных хватает для проверки качества работы алгоритма при оценке параметров сигнала, но, к сожалению, не хватает для запуска модуля фазовой автоподстройки частоты, для проверки вхождения в синхронизм и точной оценки частоты.

В данном случае, так как точное значение на выходе ФАПЧ получить не удастся, правильной считалась оценка, находящаяся в диапазоне 1 кГц от оценки, полученной при помощи параллельного коррелятора. Эксперименты показали, что наилучшие результаты дает применение прямоугольного окна для БПФ, дополнение входной смеси длины N блоком нулей длиной $3N$ для повышения точности оценки, и 3 итерации уточнения АКФ.

Так же в данной главе приводятся результаты полунатурного моделирования на данных, полученных из внешних источников. Длина записи данных позволяет, как оценить информационные параметры CDMA-сигнала, так и запустить модуль ФАПЧ для проверки вхождения в синхронизм.

Результаты полунатурного эксперимента на данных, полученных из внешних источников, представлены на Рис. 9 и Рис. 10. Эксперимент показал, что предлагаемый комплексированный алгоритм позволяет получить оценку информационных параметров сигнала в CDMA-системе, также войти в синхронизм при более низких вычислительных затратах. В эксперименте использовалось прямоугольное окно, 3 итерации уточнения АКФ и дополнение входной смеси длины N , блоком нулей длиной $3N$.

В заключении отражены результаты работы и обозначены направления дальнейшего исследования

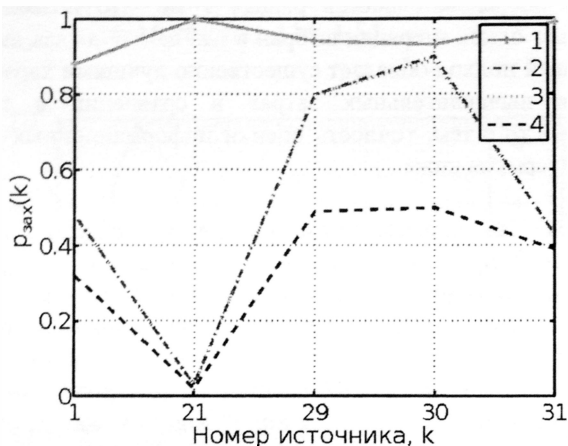


Рис. 9. Вероятность захвата: 1 - типовой приемник, 2-4 предлагаемый подход для 8N, 4N и 2N соответственно

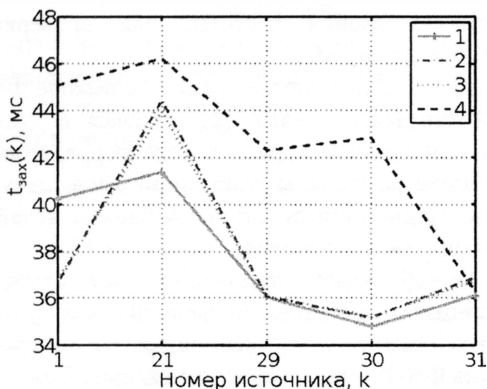


Рис. 10. Время захвата: 1 - типовой приемник, 2-4 предлагаемый подход для 8N, 4N и 2N соответственно

Основные результаты и выводы

В итоге проведенных в диссертационной работе теоретических и экспериментальных исследований получены следующие основные результаты:

1. Разработан алгоритм оценки информационных параметров для одного источника сигнала в CDMA-системах на фоне АБГШ. Полученные значения вычислительной сложности и точности оценки частоты показали, что алгоритм на основе параметрического метода оценки частоты позволяет снизить вычислительные затраты в 2 раза, в сравнении

- с типовым подходом, и при этом СКО оценки, в отсутствии МКИ, ниже 100 Гц для CDMA-сигнала с ОСШ более 25 дБ.
2. Разработан усовершенствованный итеративный алгоритм вычисления оценки АКФ. Полученные значения вычислительной сложности и оценки прироста ОСШ в зависимости от количества итераций показали, что алгоритм позволяет увеличить ОСШ на 20 дБ при вычислении трех итераций пересчета автокорреляционной функции, в то же время, вычислительная сложность, сниженная с квадратичной до логарифмической, позволяет использовать его в приемниках реального времени.
 3. Разработан комплексированный алгоритм оценки информационных параметров CDMA-сигнала на фоне интерференционной помехи и шума на основе алгоритмов: Delay and Multiply Approach, усовершенствованного итеративного алгоритма вычисления оценки АКФ и AP-модели принимаемого сигнала. Алгоритм позволяет получить оценку частоты, удовлетворяющую допустимой входной расстройке ФАПЧ ± 18 Гц, для значений ОСШ сигнала порядка -20 дБ без накопления, при вычислительной сложности в 3 раза меньшей в сравнении с традиционным подходом.
 4. Результаты исследований с использованием имитационного моделирования в математическом пакете MATLAB, а также полунатурного моделирования на разработанной программно-аппаратной платформе и сигнале, полученном из внешних источников, согласуются, и подтверждают возможность использования разработанного комплексированного алгоритма оценки информационных параметров CDMA-сигнала в системе Navstar GPS с уровнем ОСШ порядка -27 дБ.
 5. Предложенный комплексированный алгоритм оценки информационных параметров CDMA-сигнала позволяет добиться наилучших результатов при типовых значениях доплеровского смещения и типовых сценариях распространения сигнала в наземных пользовательских приемниках.

Основные результаты диссертации отражены в работах:

1. Сидоркина Ю.А., Никифоров А.А. Алгоритм оценки параметров широкополосного сигнала на ограниченном интервале наблюдения // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. №210. С. 76-83. (п.л. 0.4375 / п.л. 0.22)
2. Никифоров А.А. Эффективная реализация процедуры последовательного вычисления автокорреляционной функции // Образование. Наука. Научные кадры. 2013 №5. С. 204-207.
3. Никифоров А.А. Алгоритм итеративного вычисления автокорреляционной функции в задаче оценки частоты широкополосного сигнала // Механизация строительства. 2013. № 11. С. 53-55.

4. Никифоров А.А. Мельников А.О. Токарев С.В. Детектирование сигналов с расширенным спектром на основе АР модели // Промышленные АСУ и контроллеры. 2013. №5. С. 51-54. (п.л. 0.1875 / п.л. 0.1).
5. Никифоров А.А. Применение алгоритма Delay and Multiply Approach и АР модели для обнаружения и оценки параметров ШПС // Доклады 7- ой Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь» в рамках Московской Микроволновой Недели, М. 2013. с. 223-227.
6. Никифоров А.А. Детектирование сигналов с расширенным спектром на основе АР модели с учетом мощности шума // Доклады международной конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий - РЕС-2013», М. 2013. Выпуск LXVIII. с. 139-143.
7. Никифоров А.А., Мельников А.О. Методы детектирования систем спутниковой навигации // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания: Сборник мат-в V Международной студенческой научно-практической конференции. Часть 2. 2011. С. 67 - 70. (0.2 п.л. / 0.1 п.л.)
8. Никифоров А.А. Создание лабораторного стенда для приема сигналов спутниковых систем навигации // Вестник молодых ученых Московского государственного университета приборостроения и информатики. М. 2011. №9. С. 55-66.