

Федеральное агентство связи

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования**

**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА

Самара

Халилов Ринат Рашидович

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ
ОЦЕНИВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА В ДИСПЕРГИРУЮЩЕМ КАНАЛЕ**

Специальность: 05.12.13 –
Системы, сети и устройства телекоммуникаций

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Самара – 2011

Работа выполнена в ГОУВПО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (ГОУВПО ПГУТИ, г. Самара)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Николаев Борис Иванович

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор

Прохоров Сергей Антонович

- кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Маслов Евгений Николаевич

Ведущая организация: ОАО Научно–исследовательский институт точных приборов

Защита диссертации состоится «18» февраля 2011 г. в 13–00 час. на заседании Диссертационного совета Д.219.003.02. Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики по адресу: 443010, г. Самара, ул. Л. Толстого 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

Автореферат разослан «14» января 2011 г.

Учёный секретарь
Диссертационного совета 219.003.02
д.т.н., профессор

Мишин Д. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации.

Развитие информационного общества требует передавать всё большие объёмы информации. Повышение скорости передачи информации, без перехода в другой частотный диапазон, практически приводит к межсимвольной интерференции на приёме. При этом увеличение скорости передачи сообщения желательно достигать увеличением не только канальной скорости, но и информационной. Поэтому сейчас преимущественно развиваются методы приёма информации в каналах с МСИ без использования специальных тест-сигналов.

В диссертации разрабатываются алгоритмы оценивания временных и энергетических параметров сигнала при организации системы передачи информации без использования тест-сигналов. Задачи приёма сигналов в условиях интенсивных помех и многолучёвости в настоящее время возникают практически во всех системах радиосвязи. Выделим некоторые из них, в которых, по мнению автора, было бы эффективно применение разработанных алгоритмов.

Средства космической связи

Характерными особенностями космических средств с низкоорбитальных КА связи являются высокая скорость передачи и значительная длительность между синхропосылками.

Учитывая задачи приёма сигналов с КА на НППИ при низких углах места и исходя из особенностей построения тракта передачи с КА на НППИ, методы оценивания параметров сигналов, представленные в диссертации, могут эффективно применяться при создании входных блоков приёмного устройства.

Средства связи с маневрирующими носителями (беспилотные самолёты, вертолёты)

Для таких систем связи необходим экспресс-анализ: быстрое обнаружение, сопровождение и приём достаточно больших потоков информации в каналах с МСИ. Описываемые в диссертации методы оценивания параметров сигналов могут использоваться для обеспечения связи в этих условиях.

Учитывая бурный рост развития геоинформационных технологий, а вместе с ним применения систем связи, устанавливаемых на маневрирующих объектах, можно утверждать, что тема диссертации является актуальной.

Состояние вопроса

Основой для синтеза устройств тактовой синхронизации для каналов с МСИ являются два подхода, присущие разным методам передачи сигнала:

1) системы передачи информации с заданной скоростью на разнесённых по частоте несущих (сигналы с малой базой) на тактовых интервалах, существенно превышающих время рассеяния в канале. В этом направлении следует отметить работы Р. Мозье, Р. Клабо, Л. М. Финка, Ю. Б. Окунева, и др.;

2) системы передачи с оценкой текущего состояния канала и оптимальной (субоптимальной) демодуляцией сигнала. В этом направлении следует отметить труды Д. Д. Кловского, Б. И. Николаева, В. А. Соифера, В. Г. Карташевского, Ю. В. Альшева, Е. О. Хабарова, А. А. Журавлёва, Дж. Прокиса, Ю. С. Шинакова, А. П. Трифонова, Г. Д. Форни, А. Витерби и др.

Для первого направления необходимо отметить работы И. Е. Байдана, В. С. Караваева, В. В. Гинзбурга, А. А. Каяцкаса, Е. Н. Маслова, Ю. Ф. Пелегова, Х. Луи, У. А. Тюрели, С. Барбаросса, в которых рассматриваются вопросы построения системы тактовой синхронизации многочастотного модема, ориентированной на использование анализатором тактовой синхронизации непосредственно самого рабочего сигнала.

Для второго направления необходимо отметить работы, посвящённые оцениванию параметров принимаемого многолучевого сигнала (идентификации канала): В. Г. Карташевского, Б. И. Николаева, Ю. Г. Сосулина, А. М. Чингаевой, А. В. Борисенкова, в которых представлены методы и алгоритмы оценивания параметров принимаемого многолучевого сигнала по специальным тест-сигналам, которые параллельно используются как синхропосылки.

В настоящее время всё чаще появляются алгоритмы и методы самовосстановления сигналов в системах радиосвязи, не требующие передачи тестовых последовательностей (слепая коррекция). В этом направлении необходимо отметить работы О. В. Горячкина, Дж. Прокиса, Абед-Мераим К, Хуа В и др.

Для обеспечения приёма информации необходимо не только идентифицировать канал, но до этого извлечь первичную информацию о принимаемом сигнале, в частности обнаружить сигнал в канале, обеспечить тактовую синхронизацию. Методам определения параметров сигнала для канала с МСИ по информационному сигналу посвящается настоящая диссертация.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование алгоритмов оценивания временных и энергетических параметров сигнала для канала с МСИ без использования тест-сигналов.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие задачи исследования. Провести синтез и анализ:

1. алгоритмов тактовой синхронизации, не требующих знания импульсной характеристики канала.
2. алгоритма обнаружения, инвариантного к многолучёвости.
3. алгоритмов оценивания мощности шума, инвариантных к многолучёвости.

Методы исследования.

В работе используются методы статистической теории связи, теории оценивания и оптимизации, методы статистического имитационного моделирования.

Обоснованность и достоверность результатов работы обеспечивается адекватностью использованных методов и подтверждается сходимостью полученных результатов к ожидаемым, а также несмещённостью и состоятельностью найденных оценок.

Научная новизна

1. Разработан метод оценивания временных и энергетических параметров принимаемого многолучевого сигнала, основой которого служит анализ разнесённых во времени фрагментов принимаемого многолучевого сигнала, позволяющий оценивать параметры сигнала по его информационной части.

2. Разработан алгоритм совместного обнаружения сигнала, оценивания дисперсии канального шума и оценивания границ тактовых интервалов, базирую-

щийся на анализе разнесённых во времени фрагментов сигнала.

3. Исследованы характеристики качества разработанных алгоритмов.

Практическая ценность работы

1. Разработанные алгоритмы тактовой синхронизации в каналах с МСИ без использования тест-сигнала, инвариантные к многолучёвости и виду модуляции, основанные на поиске разнесённых во времени подобных частей принимаемого сигнала, обладают быстродействием и работоспособны при низком отношении сигнал/шум.

2. Разработанный алгоритм совместного обнаружения сигнала, оценивания дисперсии канального шума и определения границ тактовых интервалов для конкретных видов модуляции позволяет существенно упростить входные блоки приёмного устройства за счёт использования для оценивания параметров сигнала общих результатов промежуточных вычислений.

Реализация и внедрение результатов работы

Результаты работы использованы ГНП РКЦ «ЦСКБ–Прогресс» (г. Самара), ОАО «НИИ ТП» (г. Москва), а также в учебном процессе кафедры ТОРС ПГУТИ. Реализация результатов работы подтверждена соответствующими актами.

На защиту выносятся:

1. Метод оценивания параметров принимаемого многолучевого сигнала, основанный на анализе разнесённых во времени фрагментов принимаемого многолучевого сигнала.

2. Алгоритм тактовой синхронизации, инвариантный к виду модуляции и многолучёвости, основанный на поиске повторяющихся частей принимаемого многолучевого сигнала.

3. Алгоритм совместного обнаружения сигнала, оценивания дисперсии канального шума и оценки границ тактовых интервалов, основанный на сравнении разнесённых во времени частей принимаемого многолучевого сигнала.

4. Анализ характеристик надёжности, помехоустойчивости и быстродействия, полученных средствами статистического имитационного моделирования.

Апробация работы.

Основные результаты по теме диссертационного исследования докладывались на XIV, XVI Всероссийских конференциях профессорско-преподавательского состава ПГУТИ (Самара, 2007, 2009), на Научно-технической конференции молодёжи ГНПРКЦ «ЦСКБ–Прогресс» «Инновационные разработки – основа созданий мирового лидирующего продукта в ракетно-космической отрасли» (Самара, 2007), на Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники и её роль в устойчивом социально-экономическом развитии общества» (Самара, 2009), Научно-технической конференции молодых учёных «ИСС 2008» (Железнодорожск, 2008), IV, V, VI Научно-технических конференциях «Системы дистанционного зондирования Земли» (Адлер–Москва, 2007, 2008, 2009), на IX и X Международных научно-технических конференциях «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (Самара, Казань, 2006 и 2008), на IX и X Меж-

дународных научно–технических конференциях «Радиолокация, навигация, связь» (Воронеж, 2007, 2009), IX Международной научно–технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов» (Челябинск, 2010).

Публикации. Всего по теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, из них 3 работы в изданиях, рекомендуемых ВАК.

Структура и объём работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, приложений.

Основная часть содержит 108 страниц машинописного текста, 33 рисунка и 6 таблиц. В библиографию внесены 76 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы и проводимых исследований, обосновываются новизна, практическая значимость.

В первой главе описаны математическая и физическая модели канала связи с многолучевым распространением радиоволн. Даны характеристики различных каналов, для которых в работе предлагаются эффективные алгоритмы, в частности, каналов космической связи, каналов с ионосферным отражением сигнала, а также каналов приёма информации с низколетящих объектов. Все эти каналы относятся к классу диспергирующих. Представлены распределения вероятностей квадратурных компонент передаточной функции для канала космической связи.

Во второй главе проведено исследование алгоритмов тактовой синхронизации для канала без межсимвольной интерференции, проведён синтез и анализ алгоритмов тактовой синхронизации (ТС) для каналов с МСИ.

В каналах с МСИ границы между соседними элементами сигнала стираются, поэтому для определения характеристических моментов сигнала невозможно использовать метод поиска переходов с одной позиции сигнала на другую, поэтому предлагается найти новую основу для алгоритма, инвариантную к МСИ. Вместо этого в работе используется метод поиска повторяющихся фрагментов принимаемого сигнала. На интервале локальной стационарности канала даже в условиях МСИ всегда найдутся такие пары фрагментов, которые порождены одинаковыми последовательностями элементов сообщения и поэтому совпадают с точностью до аддитивного шумового слагаемого.

Учтём, что полная энергия элемента сигнала, прошедшего через канал, заключена в интервале $T_a = Q+1 T$. Так как Q – величина конечная, то число элементов сигнала, влияющих на отрезок принимаемого сигнала на интервале T_a , также конечное и равно $2Q+1$. Таким образом, если учесть основание кода m , для представления исходного сигнала при первичном кодировании число возможных комбинаций на T_a также конечное и равно $N = m^{2Q+1}$. Учитывая этот факт, для поиска границ T необходимо ожидать не перехода с одной позиции на другую, как это происходит в системах тактовой синхронизации для каналов без многолучёвости, а повтора комбинации из $2Q+1$ элементов сигнала. Оптимальным шагом смещения для нахождения повторной комбинации является

шаг, равный T . На некотором ограниченном интервале времени с разной вероятностью (зависящей от длительности интервала наблюдения) могут появляться более одной пары совпадающих фрагментов сигнала, что можно будет использовать для увеличения объёма статистических данных, которые могут быть использованы для вынесения решения устройством тактовой синхронизации и в целом для повышения точности синхронизации.

Некоторые значения вероятности того, что найдутся q пар совпадающих фрагментов сигнала для случая m -позиционной модуляции, памяти канала Q и равновероятных элементов сигнала представлены в табл. 2 ($N = m^{2Q+1}$).

Табл. 1 Для $q = 2$

P_q	0,9118	0,9002	0,9045	0,9017	0,9003	0,9	0,9	0,9
m	2	2	2	2	2	4	4	2
Q	3	4	5	6	7	6	7	12
k	32	63	127	253	505	22847	91388	16156

Как видно из представленной таблицы:

1. совпадающие фрагменты сигнала выпадают достаточно часто относительно общего возможного количества переборных комбинаций;

2. при изменении памяти канала на единицу увеличение количества элементов сигнала для появления такой же вероятности совпадения производится приблизительно в 2 раза.

Построим алгоритм на основе анализа совпадающих фрагментов сигнала.

Сигнал на входе приёмного устройства будем представлять в соответствии с выражением:

$$\dot{z}(t) = \sum_{l=1}^L \dot{s}(t - \tau_l) \cdot \dot{\gamma}_l(t) + \dot{n}(t) \quad (1)$$

Запишем разность сравниваемых фрагментов сигнала в следующем виде:

$$\dot{d}_\mu(t) = \dot{z}_{jM+i}(t) - \dot{z}_{kM+i}(t) \quad (2)$$

$$k = 0, 1, \dots, N-2, \quad j = k+1, k+2, \dots, N-1, \quad i = 0, 1, \dots, M-1, \quad \dot{z}_{jM+i}(t) = \dot{z}(t + jM + i \Delta t), \\ \dot{z}_{kM+i}(t) = \dot{z}(t + kM + i \Delta t).$$

Каждому сочетанию параметров j , k и i соответствует определённое значение μ – порядковый номер ветви обработки, причём $\mu = 0, 1, \dots, 0,5 \cdot N^2 - N - 1$.

Для дальнейшего анализа вычислим величины

$$D_\mu = \int_0^{T_q} |\dot{d}_\mu(t)|^2 dt \quad (3)$$

Предлагаемый алгоритм требует нахождения такого значения $\mu = \hat{\mu}$, при котором D_μ минимально. Найдём оценку для $\mu = \hat{\mu}$ из всех значений D_μ .

$$\hat{\mu} = \arg \min_{\mu} D_\mu \quad (4)$$

Ввиду случайности сообщения, на отсутствие следующей повторной комбинации нельзя полагаться, поэтому найденное значение должно стать отправной точкой для нахождения границы тактового интервала. Саму обработку необходимо проводить поблочно, используя для вынесения решения q блоков.

По найденному значению $\hat{\mu}$ определим значения \hat{j}, \hat{k} , при которых проявились совпадающие фрагменты сигнала. При этом зафиксируем интервал, рав-

ный по величине тактовому интервалу, в котором было найдено совпадение фрагментов принимаемого сигнала. Найдём начало этого интервала следующим образом: $\zeta = \left\lfloor \frac{\hat{\mu}}{M} \right\rfloor M$.

Запишем $D_{\zeta+i}$ для нескольких блоков в следующем виде $D_{r,\zeta+i}$, где $r = 0, 1, \dots, q-1$.

Исходя из этого, запишем решающее правило для:

$$\hat{i} = \arg \min_i \sum_{r=0}^{q-1} D_{r,\zeta+i} \quad (5)$$

Из описания алгоритма видно, что алгоритм инвариантен к виду модуляции и многолучёвости.

Для выявления качественных характеристик работы устройства ТС было проведено статистическое имитационное моделирование (СИМ), результаты представлены на рис. 1.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать выводы:

1. Синтезированный алгоритм позволяет определять границы тактовых интервалов при низком отношении сигнал/шум начиная с 0 дБ;
2. Точность определения границ тактового интервала зависит от соотношения сигнал/шум и количества анализируемых блоков.

Вероятность правильного определения границ тактовых интервалов зависит от вероятности появления совпадающих фрагментов сигнала. Для определения оптимальных значений вероятности было проведено статистическое моделирование, результаты представлены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что оптимальная вероятность совпадения фрагментов заключена в интервале 0,5...0,8. При этом, если учесть количество тактов необходимых для совпадения с заданной вероятностью оптимальное значение вероятности равно 0,5.

Рассмотрим влияние сокращения интервала анализа T_a с $Q+1 T$ до T . Этот переход позволит значительно ускорить алгоритм за счёт уменьшения числа перебираемых комбинаций с m^{2Q+1} до m^{Q+1} .

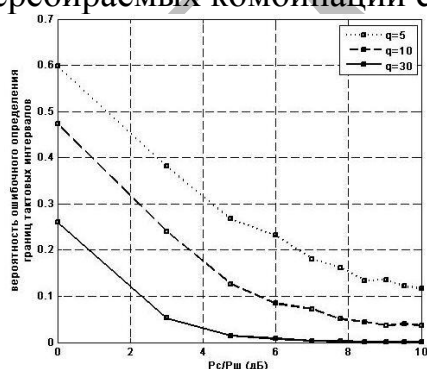


Рис. 1 Зависимость вероятности ошибочного определения границы тактового интервала в зависимости от количества используемых блоков

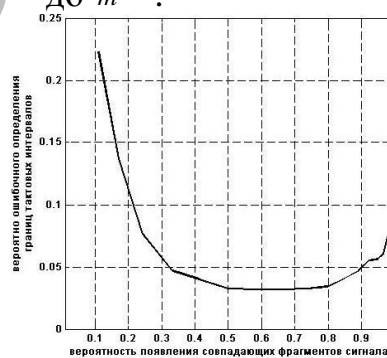


Рис. 2 Зависимость вероятности ошибочного определения границ тактовых интервалов от вероятности появления совпадающих фрагментов сигнала в блоке.

Для выявления сравнительных характеристик работы устройств тактовой синхронизации по алгоритму (5) было проведено сравнительное статистическое моделирование, результаты которого представлены на рисунках 3 и 4.

Анализ рисунков 3 и 4 позволяет говорить о том, что наблюдается выигрыш использования интервала анализа $T_a = T$. Такой интервал является оптимальным для построения любого устройства ТС, построенного по представленному алгоритму с решающим правилом (5).

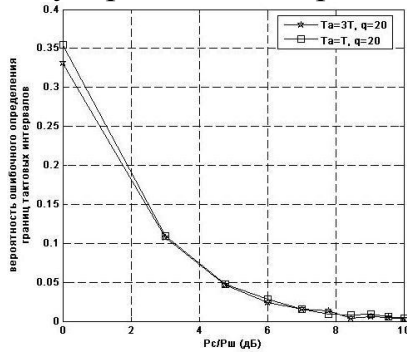


Рис. 3 Зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум и количества блоков обработки

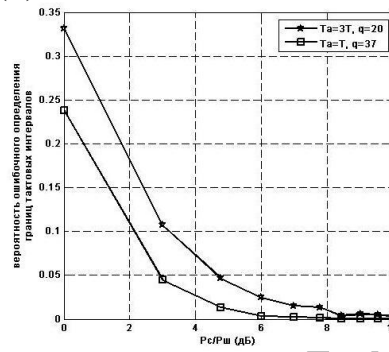


Рис. 4 Зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум и количества блоков обработки

В третьей главе проведен синтез и анализ алгоритмов обнаружения сигнала в условиях неполной априорной определённости для каналов с МСИ и без, синтезирован алгоритм оценивания дисперсии шума, основанный на использовании совпадающих фрагментов сигнала.

Пусть сигнал на передающей стороне модулируется симметрично ориентированными сигналами. На приемной стороне сигнал описывается выражением (1), задачу обнаружения сигнала сформулируем следующим образом:

$$z(t) = \kappa \cdot \gamma s(t) + n(t), \quad (6)$$

где $s(t)$ – передаваемый сигнал, $n(t)$ – белый гауссовский шум, γ – коэффициент передачи канала, а $\kappa = \overline{0;1}$ – индикатор наличия сигнала.

Для формирования данных для оценивания параметра γ запишем:

$$\dot{d}_\mu(t) = \dot{z}_{jM+i}(t) - \dot{z}_{kM+i}(t), \quad \dot{a}_\mu(t) = \dot{z}_{jM+i}(t) + \dot{z}_{kM+i}(t), \quad (7), (8)$$

где $\dot{d}_\mu(t)$ и $\dot{a}_\mu(t)$ – разность и сумма фрагментов сигнала. Найдём D_μ и A_μ :

$$D_\mu = \int_0^{T_a} |\dot{d}_\mu(t)|^2 dt, \quad A_\mu = \int_0^{T_a} |\dot{a}_\mu(t)|^2 dt. \quad (9), (10)$$

По D_μ необходимо найти такое $\hat{\mu} = \hat{j}, \hat{k}$, при котором D_μ минимально:

$$\hat{\mu} = \arg \min_{\mu} D_\mu. \quad (11)$$

Будем считать, что в совпадающих фрагментах сигнала $\dot{s}_j(t) = \dot{s}_k(t) = \dot{s}(t)$, тогда с учётом (7) – (10) найдём отношение $A_{j,k}$ к $D_{j,k}$:

$$R = A_{j,k} / D_{j,k} = 4P / 2\sigma^2 + \int_0^{T_a} 2\dot{s}(t) \dot{n}_j(t) + \dot{n}_k(t) dt / 2\sigma^2 T_a + \theta \quad (12)$$

т.к. $E = \int_0^T s^2 t dt$ – энергия сигнала, $\int_0^{T_a} \dot{n}_j t \pm \dot{n}_k t^2 dt = 2\sigma_{\pm}^2 T_a$, $\theta = \frac{\sigma_+^2}{\sigma_-^2}$ – отношение двух оценок дисперсии шума.

Для улучшения характеристик обнаружителя необходимо использовать несколько (q) пар повторяющихся фрагментов сигнала. Тогда с увеличением q отношение $\theta \rightarrow 1$, учитывая, что $\rho = \frac{P_c}{\sigma^2}$ первое слагаемое равно 2ρ , второе обозначим ξ . Тогда получим: $R = 2\rho + \xi + 1$. (13)

Дисперсия ξ будет стремиться к нулю с увеличением q .

Исходя из (14), можно записать решающее правило для обнаружения:

$$\hat{k} = \begin{cases} 1, & R > R_{\text{пор}}, \\ 0, & R \leq R_{\text{пор}}. \end{cases} \quad (14)$$

Отметим, что алгоритм с решающим правилом (14) инвариантен к многолучёвости, также алгоритм (14) не требует знания параметров мощности шума и сигнала, а зависит только от безразмерной величины R . Алгоритм (14) справедлив для всех симметрично ориентированных видов модуляции.

Оптимальным значением является значение $T_a = T$, а компенсировать проигрыш от уменьшения интервала анализа, можно увеличивая число q .

Для выявления характеристик обнаружителя было проведено СИМ. Результаты даны на рис. 5 и 6.

Из полученных результатов следуют выводы:

1. Алгоритм с решающим правилом (14) работоспособен при низком отношении сигнал/шум;
2. Вероятности пропуска сигнала и ложного обнаружения снижаются с увеличением отношения сигнал/шум и увеличением q .
3. Вероятность точного определения совпадения зависит от количества T , при этом при низком отношении сигнал/шум необходимо увеличение числа тактов для увеличения числа совпадений и соответственно повышения точности определения совпадающих фрагментов сигнала;
4. При увеличении отношения сигнал/шум более 25 вероятность точного определения стремится к вероятностям, представленным в таблице 1.

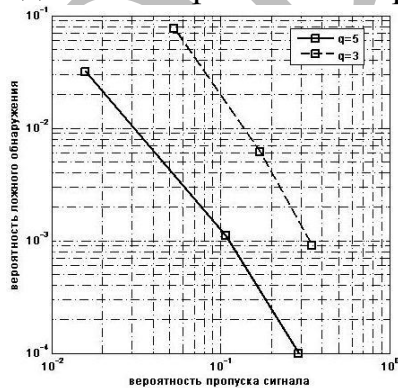


Рис. 5 Характеристики помехоустойчивости обнаружителя при отношении сигнал/шум=1

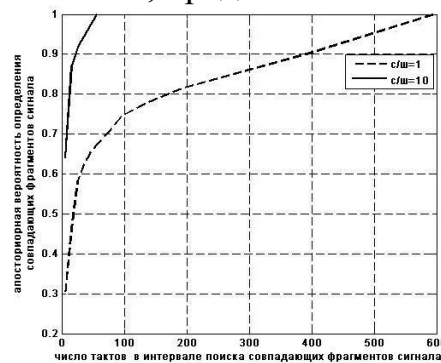


Рис. 6 Зависимость апостериорной вероятности совпадения фрагментов сигнала от количества

тактов в блоке

Исследуем возможность ускорения работы алгоритма с решающим правилом (14) за счёт включения в анализ суммы зеркально отображённых фрагментов сигнала. Минимум разности сравниваемых фрагментов будет соответствовать совпадению фрагментов, максимуму же будет соответствовать разность фрагмента сигнала с его инвертированной копией, таким образом, сумма фрагмента сигнала с его инвертированной копией будет минимальна. Учитывая это, перепишем (11):

$$\hat{\mu} = \arg \min_{\mu} D_{\mu}, A_{\mu} \quad (15)$$

Аналогично тому, как для алгоритма с решающим правилом (15) использовались q пар совпадающих фрагментов сигнала, воспользуемся не только совпадающими парами, но и зеркально отображёнными. Для этого при нахождении каждого минимума каждого блока определяется, из какого множества D_{μ} или A_{μ} найдено минимальное значение. В зависимости от принятого решения числитель наполняется значениями $D'_{j,\hat{k}}$ либо $A_{j,\hat{k}}$, а знаменатель – $A'_{j,\hat{k}}$ либо $D_{j,\hat{k}}$ соответственно. Таким образом, определим для q блоков:

$$R_{\text{общ}} = \sum_{r=0}^{q-1} \eta R_r + 1 - \eta R'_r, \text{ где } \eta = \begin{cases} 1, & D_{\mu} > A_{\mu} \\ 0, & D_{\mu} \leq A_{\mu} \end{cases} \quad (16)$$

Используя (16) и (13), перепишем решающее правило (14) для алгоритма, использующего зеркально отображённые фрагменты сигнала в виде:

$$\hat{k} = \begin{cases} 1, & R_{\text{общ}} > R_{\text{пор}}, \\ 0, & R_{\text{общ}} \leq R_{\text{пор}}. \end{cases} \quad (17)$$

Некоторые значения вероятности того, что найдётся q пар разнесённых фрагментов сигнала для случая m -позиционной модуляции, памяти канала Q и равновероятных элементов сигнала представлены в табл. 2 ($N = m^{2Q+1}$).

Табл. 2 Для $q = 2$

P_q	0,9235	0,9072	0,9061	0,9022	0,9002	0,9	0,9	0,9
m	2	2	2	2	2	4	4	2
Q	3	4	5	6	7	6	7	12
n	23	45	90	179	357	16157	64627	11425

Анализ таблиц 1 и 2 позволяет сделать следующий вывод: сравнение значений, представленных в таблице 2, со значениями таблицы 1 показывает, что частота появления совпадающих фрагментов сигнала, при учёте зеркально отображённых фрагментов сигнала, приблизительно в 1,4 раза выше, чем при использовании только одинаковых фрагментов сигнала.

Этот вывод позволяет утверждать, что быстродействие алгоритма с решающим правилом (17) по сравнению с алгоритмом с решающим правилом (14) будет выше приблизительно в 1,4 раза.

В системах передачи дискретных сообщений для решения задач оптимальной обработки сигнала часто требуется знание дисперсии канального шума.

Пусть имеем входную последовательность смеси сигнала и шума в виде (1).

Для оценивания емся операциями (7), (9) и падающих фрагментов

В соответствии с преды- ниями запишем выражение сии канального шума в

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{r=0}^{q-1} D_{r,\hat{\mu}}}{2qT}. \quad (18)$$

Для выявления качест- стик работы устройства оценивания мощности шума было проведено СИМ при различном количестве блоков q принимаемого сигнала $\dot{z} t$ (Рис. 7).

В четвёртой главе исследовалась процедура совместного обнаружения сигнала, определения характеристических моментов сигнала и оценивания мощно- сти шума как единая схема входных блоков приёма информации.

Пусть на передающей стороне используются симметрично ориентированные виды модуляции, а сигнал на приёмной стороне описывается формулой (1).

При построении схемы обнаружения с использованием разнесённых во вре- мени фрагментов сигнала применим алгоритм (17).

Подробнее рассмотрим построение устройства ТС.

Исходными данными для устройства ТС будут значения D_{μ} и A_{μ} получен- ные для алгоритма обнаружения с решающим правилом (17). Как и для алго- ритма тактовой синхронизации с решающим правилом (5) найдём искомую па- ру совпадающих фрагментов сигнала, либо пару фрагмента сигнала и его ин- вертированной копии, для чего воспользуемся формулой (15).

Как и при рассмотрении алгоритма с решающим правилом (5), по найденно- му значению $\mu = \hat{\mu}$ зафиксируем интервал, в котором была найдена искомая пара фрагментов. Определим начало этого интервала, получив ζ .

Аналогично рассмотренному алгоритму обнаружения с решающим правилом (17) при нахождении каждого минимума каждого блока будем определять, из какого множества D_{μ} или A_{μ} оно найдено.

Исходя из этого, запишем решающее правило в следующем виде:

$$\hat{i} = \arg \min_i \sum_{r=0}^{q-1} \eta D_{r,\zeta+i} + 1-\eta A_{r,\zeta+i}. \quad (19)$$

В соответствии с предыдущими рассуждениями и используя формулу (18), запишем решающее правило для оценивания дисперсии шума:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{r=0}^{q-1} \eta D_{r,\hat{\mu}} + 1-\eta A_{r,\hat{\mu}}}{2qT}. \quad (20)$$

Полученный алгоритм с решающим правилом (19), так же как и алгоритм с решающим правилом (5), инвариантен к многолучёвости, он также справедлив для всех симметрично ориентированных видов модуляции.

Для выявления качественных характеристик работы устройства ТС с ре- шающим правилом (19) было проведено СИМ при этом были получены сравни-

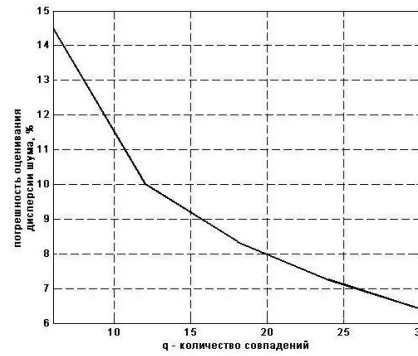


Рис. 7 Зависимость относительной ошибки оценки от количества совпадений

сии шума воспользу- (11) нахождения сов- сигнала.

дущими рассужде- для оценки диспер- следующем виде:

венных характери-

стик работы устройства оценивания мощности шума было проведено СИМ при различном количестве блоков q принимаемого сигнала $\dot{z} t$ (Рис. 7).

тельные данные об соотношении алгоритма (5) и (19). Результаты моделирования представлены соответственно на рисунках 8 и 9.

Как видно из рисунков 8 и 9:

1) при одинаковой вероятности появления ожидаемых пар фрагментов алгоритм с решающим правилом (19) даёт такие же результаты, что и алгоритм с решающим правилом (5);

2) при одинаковом количестве анализируемых тактовых интервалов и соответственно большем количестве блоков q для алгоритма с решающим правилом (19), он выигрывает по отношению к алгоритму (5).

3) Небольшая величина наблюдаемого выигрыша объясняется малой используемой в эксперименте памятью канала и малым количеством блоков. С увеличением памяти канала и числа блоков выигрыш будет увеличиваться.

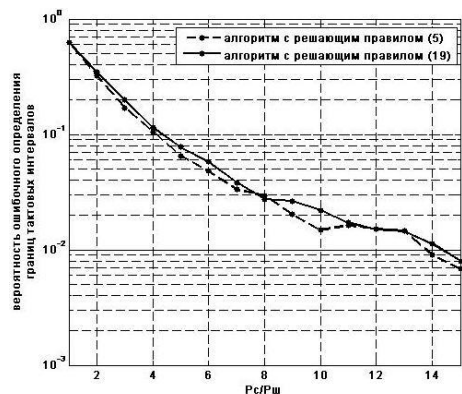


Рис. 8 Зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум и количества блоков обработки

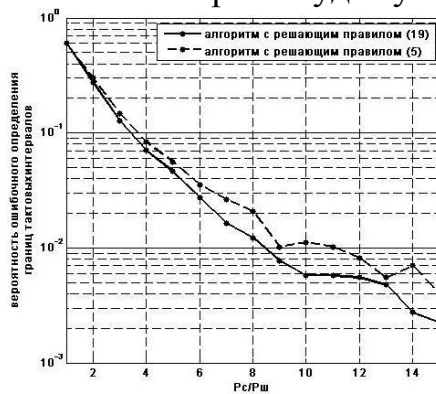


Рис. 9 Зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум и количества блоков обработки

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в ходе исследования, представленного в диссертации:

- проведён синтез и анализ алгоритмов тактовой синхронизации, инвариантных в виду многолучёвости;
- разработан и исследован алгоритм обнаружения сигнала, инвариантный к многолучёвости, используемый для приёма сигналов, модулированных на передающей стороне симметрично ориентированными видами модуляции;
- проведён синтез и анализ алгоритмов оценивания дисперсии канального шума, инвариантных в виду многолучёвости;
- представлен алгоритм совместного обнаружения, оценивания границ тактовых интервалов и оценивания дисперсии шума, инвариантный к виду многолучёвости;
- получены и исследованы рабочие характеристики разработанных алгоритмов.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК:

1. Кузнецов А.И. Тактовая синхронизация в каналах с межсимвольной интерференцией на основе структурного анализа многолучевого канала / Кузнецов А.И., Халилов Р.Р. // Инфокоммуникационные технологии. – 2007. – Вып. 4. – С. 41–43

2. Халилов Р.Р. Обнаружение в каналах с низкой энергетикой / Халилов Р.Р. // Вестник СГАУ. - 2010. - Вып. 2. – С. 220-223

3. Котлова Т.В. Исследование процедуры совместного обнаружения сигнала, оценивания дисперсии шума и тактовой синхронизации в многолучевом канале / Котлова Т.В., Халилов Р.Р. // Инфокоммуникационные технологии. – 2010. - Вып. 4. – С. 11–14

Статьи в материалах и сборниках трудов научных конференций:

4. Железнов Ю.Е. Система передачи информации дистанционного зондирования Земли с космического аппарата «Ресурс-ДК». Первые шаги / Железнов Ю.Е., Журавлёв А.А., Степанов С.В., Халилов Р.Р. // VI Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (16–18 ноября 2006 г.): Материалы конференции. – ПТТТ, 2006. – Самара, 2006. – С. 41.

5. Журавлёв А.А. Влияние точности определения границ тактовых интервалов на качество демодуляции / Журавлёв А.А., Халилов Р.Р. // Научно-техническая конференция молодёжи «Инновационные разработки – основа создания мирового лидирующего продукта в ракетно-космической отрасли»: Тез. докл. – Самара, 2007. – С. 9 – 10.

6. Котлова Т.В. Оценка временной задержки сигнала для алгоритма совместного обнаружения сигнала, тактовой синхронизации и оценивания дисперсии шума для каналов с межсимвольной интерференцией / Котлова Т.В., Халилов Р.Р. // Материалы XV Международной научно-технической конференции «Радиолокация, Навигация, Связь», г. Воронеж, 2009. – Т. 2. – С. 315–320

7. Котлова Т.В. Алгоритм совместного обнаружения сигнала, тактовой синхронизации и оценивания дисперсии канального шума при передаче сигналов с равной энергией в диспергирующих каналах / Котлова Т.В., Халилов Р.Р. // VI научно-техническая конференция «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования земли», г. Москва, 2009. – С. 202–207.

8. Котлова Т.В. Оценка порогового уровня различения «ненулевых» фрагментов сигнала для алгоритма тактовой синхронизации основанного на повторяемости частей принимаемого многолучевого сигнала / Котлова Т.В., Халилов Р.Р. // Всероссийская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы ракетно-космической техники и её роль в устойчивом социально-экономическом развитии общества», г. Самара, 2009. – С. 202-203.

9. Котлова Т.В. Сравнительная характеристика алгоритмов тактовой синхронизации, основанная на структурном анализе многолучевого сигнала / Котлова Т.В., Халилов Р.Р. // IX Международная научно-техническая конференция «Фи-

зика и технические приложения волновых процессов» г. Челябинск, 2010. – С. 228–229.

10. Николаев Б.И. Исследование тактовой синхронизации в каналах с низкой энергетикой / Николаев Б.И., Халилов Р.Р. // IV научно-техническая конференция «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования земли» г. Адлер–Москва, 2007. – С. 129–133.

11. Путинас Е.Н. Обнаружение сигналов с низкоэнергетических КА при малых углах места / Путинас Е.Н., Халилов Р.Р. // Научно-техническая конференция молодых специалистов, г. Железногорск, 2008. – С. 24

12. Халилов Д.Р. Влияние позиционности модуляции на характеристики обнаружителя / Халилов Д.Р., Халилов Р.Р. // XVI Российская научная конференция профессорско - преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГАТИ: Тез. докл. – Самара, 2009. – С. 18.

13. Халилов Р.Р. Алгоритм нахождения границ тактовых интервалов при последовательной передаче сообщений / Халилов Р.Р. // XIII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь», г. Воронеж, 2007. – С. 811–816

14. Халилов Р.Р. Алгоритм нахождения границ тактовых интервалов в каналах с межсимвольной интерференцией / Халилов Р.Р. // XIV Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГАТИ: Тез. докл. – Самара, 2007. – С. 16

15. Халилов Р.Р. Обнаружение сигналов в каналах с межсимвольной интерференцией и шумом / Халилов Р.Р. // V научно-техническая конференция «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования земли», г. Адлер–Москва, 2008. – С. 75–80.

16. Халилов Р.Р. Оценивание дисперсии шума в канале с МСИ с использованием метода дифференциального анализа / Халилов Р.Р. // IX Международную научно-техническую конференцию «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (16–18 ноября 2008 г.): Материалы конференции. – ПТТТ, 2008. – Казань, 2008. – С. 219–220.