

ОТЗЫВ

официального оппонента

Бокк Германа Олеговича

на диссертацию Поборчей Натальи Евгеньевны
на тему: «Разработка эффективных методов и алгоритмов оценивания
параметров канала связи в условиях априорной неопределенности»
на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Актуальность темы диссертационного исследования.

Актуальность темы диссертационного исследования Поборчей Н.Е. обоснована увеличением скорости передачи информации в современных системах связи, что приводит к требованиям использования спектрально эффективных многопозиционных сигналов и технологии многоантенных систем (MIMO). При этом особую остроту приобретает задача оценки параметров канала связи с высокой точностью для обеспечения требуемого качества приема и передачи сигналов. Кроме того, с ростом количества абонентов важными становятся вопросы удешевления аппаратуры. Последнее возможно при использовании приемников прямого преобразования, в которых происходит перенос принимаемого сигнала на нулевую частоту с образованием двух квадратур. Но такому способу приема присущи недостатки, состоящие в появлении ряда искажений сигнала: сдвиг частоты, амплитудный и фазовый дисбаланс квадратур, дрейф постоянных составляющих. Описанные искажения также приводят к понижению помехоустойчивости приема. Поэтому возникает необходимость решения задачи оценивания указанных искажений для последующей компенсации.

Известные методы решения задачи оценивания в соответствующей постановке в основном получены для условий гауссовских некоррелированных шумов, которые не всегда адекватно описывают реальные мешающие воздействия в канале связи. В основном используется подход с

раздельной оценкой неизвестных параметров канала и искажений сигнала, который для удовлетворительной работы требует больших выборок тестового сигнала. Только в этом случае гарантируется заданная точность. Кроме того, алгоритмы зачастую ориентированы на условия, когда часть параметров известна априорно. Для того, чтобы повысить спектральную эффективность системы связи, что актуально на текущий момент, необходимо добиться уменьшения требуемого объема выборок тестового процесса при сохранении качества. При использовании процедур раздельной оценки параметров, основанных на усреднении по времени, достигнуть таких результатов не удастся. В результате их исходное достоинство – простота, перестает быть решающим.

Повышение точности оценивания неизвестных параметров канала связи и искажений сигнала, полученных в тракте приемника прямого преобразования сопровождается увеличением количества арифметических операций в разрабатываемых алгоритмах. Так известные процедуры совместного оценивания обладают высокой вычислительной сложностью. Поэтому актуально в условиях априорной неопределенности синтезировать высокоточные процедуры оценивания с удовлетворительной вычислительной сложностью для обеспечения возможности реализации на современной схемотехнической базе.

Научная новизна. Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. предложен новый рекуррентный регуляризирующий метод совместной оценки параметров канала связи в условиях априорной неопределенности относительно динамической системы и корреляционных характеристик шумов, позволяющий с единых позиций решать, как линейные, так и нелинейные задачи с разными аппроксимирующими конструкциями;

2. получено приближенное рекуррентное выражение, устанавливающее в замкнутом виде правило апостериорного управления

параметром регуляризации, основанное на априорных данных относительно дисперсии аддитивного шума, позволяющее повысить точность оценивания в условиях ограниченных выборок сигнала;

3. в условиях априорной неопределенности относительно статистических характеристик канала связи и законов распределения шумов предложен новый метод совместной оценки параметров нестационарного канала и сигнала, работающий как по тестовой, так и по информационной последовательности после детектирования, основанный на полиномиальной аппроксимации ограниченного порядка внутри временного скользящего окна и линейном МНК, обладающий вычислительной сложностью, линейно зависящей от объема выборки сигнала;

4. на основе предложенного метода в п. 1 синтезированы новые рекуррентные алгоритмы совместной оценки параметров канала связи для задач фазовой и тактовой синхронизации, а также для компенсации искажений, вносимых приемником прямого преобразования, работающие как по тестовой последовательности, так и по информационным символам после процедуры детектирования в системах с SISO, позволяющие сократить длину тестовой последовательности и повысить точность оценивания;

5. на основе методов, предложенных в п.1 и п.3, для систем с MIMO синтезированы новые алгоритмы (рекуррентные и не рекуррентные, комбинированные) совместной оценки матрицы канала связи и искажений, вносимых приемником прямого преобразования, для стационарного и нестационарного канала, которые позволяют понизить сложность по сравнению с известными методами совместного оценивания;

6. на основе предложенных методов в п.1 и п.3 для системы с OFDM синтезированы новые алгоритмы совместной оценки параметров канала связи и искажений сигнала в тракте приемника прямого преобразования, работающие во временной области и позволяющие повысить точность оценивания или понизить вычислительную сложность относительно известных процедур.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается проведенными автором теоретическими и экспериментальными исследованиями, корректным применением математического аппарата, в том числе методов статистической обработки результатов экспериментов, применением современных программных комплексов, положительными результатами внедрения на предприятиях, глубоким и обширным уровнем анализа научно-технической литературы по рассматриваемой тематике, а также корректным и обоснованным распространением результатов анализа на решаемые задачи.

Достоверность результатов. Достоверность полученных результатов диссертации подтверждается обоснованным использованием известных соотношений и законов, приводимых в классической литературе по математическому моделированию, численным методам, методам оценивания неизвестных параметров сигнала и рекуррентной нелинейной фильтрации, которые можно найти в цитируемых современных источниках. На различных этапах исследования полученные результаты сравниваются с результатами ведущих отечественных и зарубежных ученых. Также они широко обсуждались на международных и российских конференциях.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования.

Теоретическая значимость работы заключается в синтезе методов совместного оценивания параметров канала связи в условиях априорной неопределенности относительно статистических характеристик канала связи и законов распределения шумов. В разработке на их основе алгоритмов оценивания, работающих, как по тестовой последовательности, так и по информационной, после процедуры детектирования.

Практическая значимость заключается в том, что в условиях априорной неопределенности при наличии фазового и аддитивного шумов

синтезированы новые алгоритмы оценивания параметров канала связи, которые позволяют

- при решении задачи фазовой и тактовой синхронизации сократить длительность переходного процесса до 2 раз и повысить точность оценивания частоты сигнала MSK в 1.5-2 раза относительно известного алгоритма Стратоновича, а также реализовать предложенные процедуры в реальном времени; сократить длину тестовой последовательности при оценке задержки, частоты и фазы сигналов MSK, PSK, QAM в 3-18 раз и повысить точность оценивания частоты и фазы в 3 и 4 раза, соответственно, если сравнивать с известными решениями в виде алгоритма Стратоновича;

- при решении задачи компенсации искажений сигнала в приемнике прямого преобразования а) для системы SISO в условиях стационарного канала полученный новый регуляризирующий алгоритм совместной оценки амплитуды, фазы, частоты, амплитудно-фазового дисбаланса и постоянных составляющих сигналов PSK, QAM, который обладает свойством более высокой устойчивостью к априорным ошибкам относительно значения дисперсии аддитивного шума, чем известный алгоритм Стратоновича, и позволяет получить энергетический выигрыш до 4 дБ относительно известных процедур оценивания; б) для системы с OFDM синтезирован новый алгоритм совместной оценки во временной области параметров канала и искажений сигнала в тракте приемника прямого преобразования, работающий по двум опорным символам, который обладает вычислительной сложностью, пропорциональной квадрату объема выборки тестового сигнала, что ниже, чем известный алгоритм совместного оценивания (сложность пропорциональна третьей степени объема выборки), и демонстрирует выигрыш по помехоустойчивости относительно известной процедуры на основе статистического усреднения до 7 дБ; в) для системы с MIMO синтезирован новый алгоритм совместного оценивания матрицы канала и искажений сигнала в приемнике прямого преобразования, который при одинаковой помехоустойчивости обладает гораздо более низкой

вычислительной сложностью, чем известный алгоритм совместного оценивания параметров;

- в условиях априорной неопределенности относительно статистических характеристик канала с доплеровским искажением спектра и релеевскими замираниями синтезирован новый алгоритм оценивания параметров канала связи и искажений сигнала M-QAM, обладающий более низкой вычислительной сложностью, чем известные процедуры совместного оценивания.

Оригинальность и научная значимость полученных результатов подтверждается публикациями в российских и зарубежных рецензируемых изданиях. По теме диссертации опубликовано 49 работ: 26 публикаций в журналах, из них 18 из Перечня ВАК, 2 публикации входят в Web of Science; 18 докладов на конференциях, из них 5 публикаций в международной базе Scopus. Получено 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, что подтверждает практическую значимость исследования.

Замечания по диссертационной работе.

1. Стр. 102, 252, выбор процессора TMS320C6455 для анализа вычислительных затрат представляется неудачным, т.к. указанный процессор поддерживает инструкции только с фиксированной точкой, что с необходимостью приводит к требованию проверок на переполнение после операций суммирования и умножения, что автором не учитывалось при оценках затрат.
2. При оценках вычислительных затрат лучше было ориентироваться на современные методы параллельного программирования, например, на базе графических процессоров GPU, а не на монопольный режим CPU разработок 2000 года.
3. На стр. 321 ссылка на несуществующий рисунок 7.8в.
4. Стр. 343, вывод №7. Утверждение о том, что сдвиг частоты, приводящий к $\Delta f T \sim 2 \cdot 10^{-3}$ является большим представляется спорным, т.к. он будет на одном символе OFDM приводить к фазовому набегу $\pm 0.4^\circ$, что

ничтожно мало с точки зрения корреляционного приема даже для таких видов модуляции, как QAM256

5. Стр. 350, вывод №8. Техника сплайнов, заявленная в разделе, рассмотрена без решения вопросов сопряжения на границах. Поэтому это скорее не сплайны, простейшие вейвлеты с прямоугольной огибающей.
6. В диссертации автор использует теорию и технику нелинейной фильтрации для задачи стохастической аппроксимации и формирования экстремального решения при оценке неизвестных параметров (см. стр. 53, 69, 131, 154, ..., приложение 1). При этом необоснованно игнорируется главное положительное качество алгоритмов фильтрации – максимально быстро сходиться при корректном выборе режима управления параметром усиления в петле обратной связи. Вместо этого в работе предлагается использовать чрезвычайно малые постоянные значения дисперсии возмущающего воздействия (например, см. табл. 3.1, 3.2, и рис. 3.13) $\sigma_{\xi}^2 \sim 10^{-9}$ и менее. Это приводит к увеличению длительности переходных процессов для алгоритмов настройки и малым областям захвата.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, раскрывает основные положения работы и полученные результаты. В заключении автореферата приведены основные выводы по диссертации.

Диссертация Поборчей Н.Е. соответствует паспорту специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (п.4).

В целом, диссертационная работа Поборчей Натальи Евгеньевны «Разработка эффективных методов и алгоритмов оценивания параметров канала связи в условиях априорной неопределенности» представляет собой

законченную научно-квалификационную работу, актуальную как для радиотехнической отрасли, так и для других отраслей, где используются методы оценивания.

Основные выводы по результатам исследований достоверны и обоснованы.

Положения, выносимые на защиту, достаточно полно опубликованы в рецензируемых изданиях и апробированы на научных конференциях.

Замечания по диссертации не снижают ценности научно-квалификационной работы.

Вывод: диссертационная работа Поборчей Н.Е. полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Официальный оппонент

Бокк Герман Олегович

06.07.2021

Доктор технических наук по специальности 05.12.17 – Радиотехнические и телевизионные системы и устройства, директор по науке ООО «НИРИТ-СИНВЭЙ Телеком Технолоджи».

Адрес: 117638, Москва, ул. Одесская, д. 2, БЦ «Лотос», корп. С.

тел.: +7 (926) 503-31-82

эл. почта: bgo@nxtt.org

Подпись Бокка Г.О. заверяю,

начальник отдела кадров

ООО «НСТТ»

А.Е. Колкин



М.П.