

Отзыв

официального оппонента доктора технических наук, доцента Неровного Валерия Владимировича на диссертационную Зиминой Светланы Валерьевны на тему «Флуктуации в многоканальных адаптивных системах», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 «Радиофизика»

Актуальность выполненных исследований.

Диссертация Зиминой Светланы Валерьевны посвящена проблеме уменьшения влияния флуктуаций весовых коэффициентов на статистические характеристики многоканальных адаптивных систем различной структуры – адаптивных антенных решёток (ААР) и искусственных нейронных сетей (ИНС). ААР и ИНС используются для решения задач пространственной фильтрации – выделения полезного сигнала на фоне помех. Такое применение этих адаптивных систем широко востребовано, и по этой причине вопросы улучшения качества настройки таких систем являются актуальными. Это касается и оптимизации работы многоканальных адаптивных систем с учётом флуктуаций весовых коэффициентов, исследованию которой и посвящена диссертационная работа.

Научная новизна и практическая ценность.

Адаптивным антенным решёткам и искусственным нейронным сетям посвящено большое число книг и научных статей, но исследований влияния флуктуаций весовых коэффициентов на качество настройки и статистические характеристики этих адаптивных систем мало. Именно по этой причине разработанные в диссертации методы анализа характеристик адаптивных систем различной структуры с учётом флуктуаций являются актуальными и практически ценными.

В диссертационной работе предложен ряд методов учёта флуктуаций как для адаптивных систем различной структуры (ААР, не содержащие и содержащие нелинейную функцию в цепи корреляционной обратной связи, искусственные нейронные сети), так и для алгоритмов адаптации, линейных (дискретный градиентный и быстрый рекуррентный алгоритмы) и нелинейных (алгоритм Хэбба) по весовому вектору.

Полученные в диссертации аналитические формулы и графики дают разработчикам возможность оптимизировать работу адаптивных систем с целью минимизации искажающего влияния флуктуаций весовых коэффициентов на выходной сигнал адаптивной системы.

Основные результаты работы.

В основе всех разработанных в диссертации методов учёта флуктуаций лежат методы теории возмущений по малому параметру. В диссертационной работе в качестве малого параметра выбран коэффициент адаптации системы. По своему физическому смыслу коэффициент адаптации – это коэффициент усиления в цепи обратной связи. Результаты получены в первом (борновском) приближении. Автором рассматривался наиболее общий случай негауссовской статистической зависимости между вектором входных сигналов и весовым вектором. В теории адаптивных систем такой анализ в виде системы методов (для различных типов алгоритмов настройки - градиентные и не градиентные алгоритмы, для различных типов адаптивных систем - ААР с нелинейной и без нелинейной функции в цепи корреляционной обратной связи, ИНС) выполнен впервые.

Первая и вторая главы диссертации посвящены методам анализа адаптивных антенных решёток без нелинейной функции в цепи обратной связи и с алгоритмами настройки, линейными по весовому вектору (анализируются дискретный градиентный алгоритм в первой главе, и алгоритм рекуррентного обращения выборочной оценки корреляционной матрицы входных сигналов во второй главе).

Анализировались корреляционная функция, мощность и спектральная плотность мощности выходного сигнала ААР, диаграмма направленности, коэффициент направленного действия и коэффициент усиления антенны.

Показано, что учёт флуктуаций весового вектора приводит к появлению дополнительных слагаемых в формулах статистических характеристик адаптивных антенных решёток, определяет замывание нулей диаграммы направленности и потери в выходном отношении сигнал/шум адаптивных антенн.

Третья глава диссертационной работы посвящена исследованию адаптивных антенных решёток, настраивающихся по алгоритму Хэбба - классическому алгоритму настройки искусственных нейронных сетей. Данный алгоритм нелинеен по весовому вектору. Весовой вектор входит в алгоритм Хэбба в третьей степени. Кроме того, данный алгоритм, в отличие от дискретного градиентного и быстрого рекуррентного алгоритмов, не является градиентным. Не градиентные алгоритмы не анализировались в отношении флуктуаций весового вектора, поскольку первоначально анализ влияния флуктуаций был связан с шумом, возникающим на каждой итерации при

оценке градиента. Тем не менее, флуктуации весового вектора в алгоритме Хэбба присутствуют за счёт наличия статистической зависимости весового вектора с вектором входных сигналов.

В диссертационной работе показано, что за счёт того, что алгоритм Хэбба нелинеен по весовому вектору, в формулах корреляционной функции, мощности и спектральной плотности мощности выходного сигнала ААР, полученных с учётом флуктуаций весового вектора, появляется составляющая, обусловленная взаимодействием сигнала и помех в процессе обработки сигналов посредством алгоритма Хэбба. Такая составляющая отсутствует в алгоритмах, в которые весовой вектор входит в первой степени (в дискретном градиентном и быстром рекуррентном алгоритмах). Этот факт имеет практический смысл – при обработке сигналов на основе нелинейных по весовому вектору алгоритмов возможно взаимодействие всех принятых адаптивной антенной решёткой сигналов (полезного сигнала и помех). Это проявит себя в дополнительном искажении характеристик полезного сигнала из-за флуктуаций весовых коэффициентов.

Четвертая и пятая главы диссертации описывают методы анализа с учётом флуктуаций весового вектора адаптивных антенных решёток, содержащих нелинейную функцию в цепи корреляционной обратной связи. Наличие нелинейной функции в цепи обратной связи приводит к тому, что алгоритмы настройки также нелинейны по весовому вектору. В диссертации отмечается, что для проведения статистического анализа таких систем с учётом флуктуаций весового вектора нелинейная функция должна быть N раз дифференцируемой и её можно разложить в ряд Вольтерра.

Во всех главах диссертации представлены результаты компьютерного имитационного моделирования. Автор представил в работе результаты работающих в дискретном времени компьютерных моделей адаптивных антенных решёток. На основе компьютерной модели и по аналитическим формулам были получены численные значения относительного изменения выходной мощности, возникающего за счёт флуктуаций. Усреднение каждого значения этой и др. характеристик проводилось примерно по миллиону выборок данных. В диссертации показано достаточно хорошее совпадение теоретических результатов и результатов компьютерного имитационного моделирования.

В шестой главе приведены методы анализа искусственных нейронных сетей с учётом флуктуаций весовых коэффициентов. В качестве объекта исследования рассматривались многослойные полносвязные искусственные

нейронные сети, поскольку это наиболее распространённая и общая схема искусственной нейронной сети. Рассматривались все алгоритмы настройки, представленные в диссертации – дискретный градиентный и быстрый рекуррентный алгоритмы, а также алгоритм Хэбба.

Показано, что влияние флуктуаций на выделяемый искусственной нейронной сетью сигнал зависит от вида рассматриваемого алгоритма. Классические алгоритмы настройки ААР – дискретный градиентный и быстрый рекуррентный алгоритмы показывают свою эффективность при настройке искусственных нейронных сетей. В случае поступления на каждый искусственный нейрон одной и той же помеховой обстановки флуктуации, начиная со второго слоя сети, отсутствуют и не искажают выделяемый сетью сигнал. В ИНС с алгоритмом Хэбба искажения, вносимые флуктуациями весовых коэффициентов, возрастают от слоя к слою при той же помеховой обстановке. Данный результат содержит в себе практические рекомендации по использованию искусственных нейронных сетей, и является несомненным достоинством работы.

Все основные результаты работы получены аналитически и подтверждены компьютерным моделированием. К числу достоинств работы следует также отнести большое количество публикаций по теме исследования.

По диссертационной работе можно сделать следующие **замечания**:

1. Автором в диссертации рассматривается негауссовская статистическая зависимость между вектором входных сигналов и вектором весовых коэффициентов ААР, однако, характеристики этой зависимости не приведены.
2. В качестве развития тематики данного научного направления может быть разработка методов анализа с учётом флуктуаций весовых коэффициентов ААР и ИНС с нелинейными по весовому вектору алгоритмами настройки, как градиентными, так и не градиентными. Это направление исследований является актуальным, поскольку в настоящее время стали более активно использоваться нелинейные по весовому вектору алгоритмы с различными ограничениями.
3. В диссертации проведен значительный объём вычислений, при этом программы для проведения расчётов ЭВМ не зарегистрированы. Целесообразно оформить и подать заявки на выдачу свидетельств о регистрации программ на ЭВМ.

Выводы.

Несмотря на указанные замечания, представленная диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую разработанные на основании выполненных автором исследований положения, которые можно квалифицировать как научное достижение.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на двадцати семи научно-технических конференциях. Результаты работы опубликованы в 30 работах в изданиях, рекомендованных ВАК.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Диссертационная работа по содержанию, объему и глубине проведенных исследований, ценности полученных научных и практических результатов удовлетворяет критериям, предъявляемым «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением правительства Российской Федерации. Автор работы, Зими́на Светлана Валерьевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 «Радиофизика»

Официальный оппонент, ведущий научный сотрудник отдела перспективных технологий и разработок Акционерного общества научно-внедренческое предприятие «ПРОТЕК». Россия, 394028, г. Воронеж, ул. Базовая, 6, 8-951-553-11-91, e-mail: valery.km@yandex.ru, доктор технических наук, доцент

«11» 10 2021 г.

Неровный Валерий Владимирович

Подпись Неровного В.В. заверяю:

Генеральный директор АО НВП «ПРОТЕК»

«11» 10 2021 г.



Шуваев В.А.