

ОТЗЫВ
официального оппонента
Козлова Анатолия Ивановича
на диссертацию
Зиминой Светланы Валерьевны
«Флуктуации в многоканальных адаптивных системах»,
представленную на соискание учёной степени доктора физико-
математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Проблема повышения эффективности работы адаптивных систем в условиях сложной помеховой обстановки является актуальной в радиофизике. Это связано с быстро расширяющимся использованием адаптивных систем в связи и радиолокации. В диссертации Зиминой С.В. исследованы статистические характеристики адаптивных антенных решёток (ААР) и искусственных нейронных сетей (ИНС), разработан аппарат, позволяющий учесть флуктуации весовых коэффициентов – коэффициентов усиления в приёмных каналах этих систем. Показана актуальность этого учёта.

Автором показано, что причиной флуктуаций весовых коэффициентов является наличие зависимости между вектором входных сигналов и весовым вектором. Флуктуации входных сигналов за счёт статистической связи с весовым вектором приводят к флуктуациям настраиваемых коэффициентов усиления в приёмных каналах адаптивной системы и, как следствие, к ухудшению качества подавления помех.

В диссертационной работе Зиминой С.В. сформулированы методы статистического анализа адаптивных антенных решёток с учётом флуктуаций весовых коэффициентов, как не содержащих, так и содержащих нелинейную функцию в цепи корреляционной обратной связи и искусственных нейронных сетей. При статистическом анализе рассматривались алгоритмы адаптации как линейные (дискретный градиентный и быстрый рекуррентный алгоритмы), так и нелинейные (алгоритм Хэбба) по весовому вектору.

Разработанные автором методы составляют основу научной значимости диссертации. Практическая ценность работы состоит в том, что эти методы позволяют повысить эффективность функционирования адаптивных систем в условиях сложной помеховой обстановки, снизить искажения, вносимые флуктуациями.

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения.

Во Введении представлен обзор современного состояния проблемы, обосновывается актуальность темы диссертации, определяется цель и задачи диссертации, даётся краткое содержание диссертационной работы.

Первые три главы диссертации описывают методы статистического анализа адаптивных антенных решёток, не содержащих нелинейную функцию в

цепи корреляционной обратной связи. Алгоритмы настройки, взятые для анализа адаптивных антенн, линейны (первая глава – дискретный градиентный алгоритм, вторая глава – быстрый рекуррентный алгоритм) и нелинейны (третья глава – алгоритм Хэбба) по весовому вектору.

Для анализа используются методы теории возмущений по коэффициенту адаптации алгоритма, который полагался малым. Используется общая, негауссовская статистическая зависимость между вектором входных сигналов и весовым вектором.

Получены соотношения для основных характеристик ААР: мощности и спектральной плотности мощности выходного сигнала, корреляционной матрицы флуктуаций весового вектора, определён общий вид «флуктуационной» диаграммы направленности антенны.

Автором выполнено компьютерное моделирование работы адаптивных антенных решёток, настраивающихся по всем рассмотренным в диссертации алгоритмам. Усреднение осуществлялось по большому количеству выборок данных (от 500 тысяч до 1 миллиона выборок). Результаты компьютерного моделирования подтвердили выводы теоретического анализа.

Четвёртая и пятая главы посвящены методам статистического анализа адаптивных антенных решёток, содержащих нелинейную функцию в цепи корреляционной обратной связи. Исследовались алгоритмы настройки, линейные (имеющие первую степень) по весовому вектору (четвёртая глава – дискретный градиентный алгоритм, пятая глава – быстрый рекуррентный алгоритм). Данные адаптивные антенные решётки, согласно своей схеме, являются, по другой терминологии, искусственными нейронами и служат начальным этапом для статистического анализа искусственных нейронных сетей с учётом флуктуаций весовых коэффициентов. В развитие методов теории возмущений для успешного анализа автор использовал разложение нелинейной функции в ряд Вольтерра.

Показано, что дисперсия флуктуаций весового вектора для адаптивных антенных решёток с нелинейной функцией в цепи корреляционной обратной связи представляет собой вектор, т.е. является различной для каждого весового коэффициента. Появление вектора дисперсии свидетельствует о том, что каждый весовой коэффициент флуктуирует, имея собственную величину дисперсии. Этот факт имеет практическое значение при подготовке к работе новых адаптивных антенных решёток – коэффициенты усиления в каждом приёмном канале ААР ведут себя по-разному и статистические характеристики приёмных каналов могут сильно отличаться между собой, и это критерий правильности их функционирования.

В шестой главе представлены методы статистического анализа с учётом флуктуаций весовых коэффициентов искусственных нейронных сетей, настраивающихся по всем исследованным в диссертации алгоритмам – дискретному градиентному, быстрому рекуррентному и алгоритмам и алгоритму Хэбба. Показано, что дискретный градиентный и быстрый рекуррентный

алгоритмы – классические алгоритмы настройки адаптивных антенных решёток показали свою эффективность в компьютерном моделировании искусственных нейронных сетей, и могут быть применены как алгоритмы настройки адаптивных систем такого типа.

В **Заключении** сформулированы основные результаты, полученные автором. Отмечается, что в диссертационной работе разработана система методов анализа статистических характеристик многоканальных адаптивных систем различной структуры (ААР и ИНС) с учётом флуктуаций весового вектора, перечисляются рассмотренные в диссертации алгоритмы и допущения, при которых возможно применение данных методов. Приводятся численные значения потерь в выходном отношении сигнал/шум из-за флуктуаций весовых коэффициентов для рассмотренных алгоритмов и адаптивных систем. Эти результаты позволяют оценить работу как научное достижение в области статистической радиофизики.

Можно отметить некоторые **замечания**:

1. При компьютерном моделировании автор рассмотрел только одномерные адаптивные антенные решётки, элементы которых расположены вдоль линии. Целесообразно при дальнейшей научной работе выполнить моделирование также для двумерных плоских адаптивных антенн.
2. При проведении статистического анализа автор предполагает негауссовскую статистическую зависимость между вектором входных сигналов и весовым вектором. Как изменятся полученные результаты, если вектор входных сигналов и весовой вектор будут гауссовскую статистическую зависимость?
3. Чем можно объяснить, что потери за счёт флуктуаций весового вектора меньше в ААР с нелинейной функцией в цепи корреляционной обратной связи по сравнению с линейной адаптивной антенной решёткой?
4. Почему для исследования в диссертации Вы не выбрали алгоритм обратного распространения ошибки, используемый для настройки искусственных нейронных сетей?
5. В качестве тематики будущих исследований целесообразно рассмотреть влияние флуктуаций весовых коэффициентов на характеристики многоканальных автокомпенсаторов.

Представленные замечания не умаляют достоинств диссертационной работы. Диссертация Зиминой С.В. является глубоким высоконаучным исследованием. Рассмотрена и решена актуальная проблема анализа практического функционирования многоканальных адаптивных систем, наиболее перспективных систем современной радиолокации и связи.

Основные результаты диссертации изложены в 1 коллективной монографии, 30 статьях в журналах, включенных в Список ведущих научных журналов и изданий, утверждённых ВАК РФ. В том числе имеется 9 публикаций в журналах,

входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science.

Автореферат соответствует тексту диссертации.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение.

Диссертация «Флуктуации в многоканальных адаптивных системах» удовлетворяет квалификационным требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Зимина Светлана Валерьевна заслуживает присуждения учёной степени доктора физико – математических наук по специальности 01.04.03 – Радиоп физика.

Официальный оппонент

Заслуженный деятель науки и техники РФ,

профессор, доктор физико-математических наук,

профессор каф. «Технической эксплуатации радиотехнического оборудования» воздушных судов Московского государственного технического университета гражданской авиации

Козлов А.И.

« 08 » 11 2021

**Подпись Козлова А.И. удостоверяю
проректор по УМР МГТУГА**



Борзова А.С.

Контактные сведения:

Козлов Анатолий Иванович

Профессор кафедры «Технической эксплуатации радиотехнического оборудования воздушных судов»

доктор физико-математических наук

профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технический университет гражданской авиации»

Адрес: 125993, Москва, Кронштадтский бульвар, дом 20

Тел. 8 916 842 00 25

E-mail: vilandes@yandex.ru