

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ЧЕРЕЗ АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Д.К. Ульянов, магистрант

Московский технический университет связи и информатики
(Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2024-1-2-239-241

Аннотация. В статье рассматривается применение активных фазированных антенных решеток через адаптивное управление на основе машинного обучения. Отмечено, что разработка и внедрение стратегий динамического лучеформирования в активных фазированных антенных решетках (АФАР) направлено на оптимизацию, повышение их адаптивности под конкретные сценарии и производительности в динамичных системах связи и радиолокации. Способность динамической адаптации диаграмм направленности в ответ на изменяющиеся требования системы, запросы пользователей, качество сигнала и уровни помех посредством интеграции методов машинного обучения и механизмов обратной связи в реальном времени способствует повышению эффективности и отзывчивости операционных возможностей АФАР, способствует развитию интеллектуальных и адаптивных систем управления в широком контексте технологий связи и радиолокации.

Ключевые слова: адаптивное лучеформирование, фазированные антенные решетки, машинное обучение.

В современном мире широкое необходимость повышения эффективной и адаптивной производительности беспроводных коммуникационных и радиолокационных систем требует оптимизации активных фазированных антенных решеток (АФАР). Традиционно проектирование и управление фазированными антенными решетками зависели от статических конфигураций, что вызывало трудности в динамической адаптации к изменяющимся природным условиям, вариациям сигнала и требованиям пользователя, что зачастую вызывало парадигмальный сдвиг, инициированный интеграцией передовых алгоритмов машинного обучения в систему управления АФАР [1]. В этой связи целесообразно интегрировать в систему управления АФАР различные динамические стратегии управления с целью оптимизации их конфигураций в реальном времени [2].

Революционное применение стратегий динамического лучеформирования в системе активных фазированных антенных решеток (АФАР) позволило повысить адаптивность и отзывчивость АФАР, что тем самым положило начало развитию адаптивных систем управления в области

беспроводных технологий связи и радиолокации.

Интеграция моделей машинного обучения направлено на улучшение операционной эффективности, повышение общих показателей производительности и адаптивности АФАР.

В исследовании [3] авторы предложили нейросетевой подход к решению задач конструктивного синтеза фазированных антенных решеток (ФАР), включающих один или несколько номинальных усилителей с ограниченными диапазонами регулировки коэффициентов передачи. Обоснована структура нейронной сети, включающая классификационную нейронную сеть и несколько аппроксимирующих нейронных сетей. Предложен алгоритм обучения нейронной сети с предварительной настройкой классификационной части. Приведены примеры решения задач конструктивного синтеза с различными показателями качества обучения нейронной сети.

В работе [4] авторы предлагают метод обучения нейронной сети (TLNN) для цифровой предисторции активных фазированных антенных решеток АФАР миллиметрового диапазона, работающих при

переменных режимах ширины сигнальной полосы. По сравнению с традиционным методом искусственных нейронных сетей, предложенный подход направлен на линеаризацию при значительно меньшей вычислительной сложности за счет передачи части обученной модели с одной ширины полосы на другую. В контексте внедрения технологии 5G, увеличение ширины сигнальной полосы вызывает заметные эффекты памяти в АФАР. Кроме того, работа с различными ширинами сигнальной полосы обычно требует затратного пересчета параметров предискортирующего устройства, что может быть решено с использованием модели цифровой предисторции на основе метода обучения. Предложенный подход был апробирован посредством беспроводных измерений на АФАР, вызываемой сигналами с переменной шириной полосы, а именно от 20 МГц до 100 МГц. Экспериментальные результаты показывают значительное сокращение времени обучения при обеспечении эффективной линеаризации. С использованием цифровой предисторции на основе TLNN достигнуто улучшение коэффициента переизлучения соседнего канала на 8,5 дБ и улучшение величины векторной ошибки на 8,6 процентных пункта. При переменной ширине полосы сложность модели цифровой предисторции в терминах числа умножений снизилась с 199,168 до 160. Предложенная цифровой предисторции к изменениям ширины полосы сигнала АФАР [5].

Анализ исследований разных авторов позволяет говорить о том, что динамические стратегии лучеформирования способны корректировать диаграммы направленности в реальном времени в ответ на изменяющиеся требования системы на основе следующих задач:

1) адаптивность под запросы пользователей: динамическое формирование антенной решетки с целью фокусировки на определенных задачах или пользователях обеспечивает эффективное взаимодействие;

2) повышение качества сигнала: адаптивное лучеформирование оптимизирует конфигурацию антенной решетки для

улучшения приема и передачи, особенно в сценариях с изменяющейся силой сигнала или условиями распространения;

3) снижение воздействия внешних источников помех: динамическая коррекция диаграмм направленности в ответ на уровни помех АФАР способна поддерживать целостность сигнала и уменьшить влияние нежелательных сигналов;

4) минимизация воздействия условий окружающей среды: динамическое лучеформирование позволяет адаптировать антенную решетку к погодным условиям;

5) повышение обучаемости на основе данных: использование алгоритмов машинного обучения на основе данных позволяет АФАР корректировать конфигурацию в ответ на повторяющиеся сигналы;

6) получение обратной связи для предоставления информации о производительности системы в режиме реального времени;

7) оптимизация под сценарии: внедрение стратегий лучеформирования, адаптивных к различным операционным сценариям (например, в приложениях связи или радиолокации) должна динамически оптимизировать диаграммы направленности под требования каждого сценария.

На основе вышеизложенного целесообразно сделать вывод о том, что разработка и внедрение стратегий динамического лучеформирования в активных фазированных антенных решетках (АФАР) направлено на оптимизацию, повышение их адаптивности под конкретные сценарии и производительности в динамичных системах связи и радиолокации. Способность динамической адаптации диаграмм направленности в ответ на изменяющиеся требования системы, запросы пользователей, качество сигнала и уровни помех посредством интеграции методов машинного обучения и механизмов обратной связи в реальном времени способствует повышению эффективности и отзывчивости операционных возможностей АФАР, способствует развитию интеллектуальных и адаптивных систем управления в широком контексте технологий связи и радиолокации.

Библиографический список 1. Викулов И. Монолитные интегральные схемы СВЧ технологическая основа АФАР //Электроника: наука, технология, бизнес. – 2012. – № 7. – С. 060-073.

2. Викулов И. GaN-микросхемы приемопередающих модулей АФАР: европейские разработки // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2009. – № 7. – С. 90-97.

3. Мищенко С.Е. и др. Нейросетевой подход к решению задач конструктивного синтеза АФАР // Радиолокация, навигация, связь. – 2019. – С. 369-380.

4. Jalili F. et al. Bandwidth-Scalable Digital Predistortion of Active Phased Array Using Transfer Learning Neural Network // IEEE Access. – 2023. – Т. 11. – С. 13877-13888.

5. Petermann M., Bockelmann C., Kammeyer K.D. On allocation strategies for dynamic MIMO-OFDMA with multi-user beamforming // 12th International OFDM-Workshop. – 2007. – С. 29-30.

APPLICATION OF DYNAMIC PHASED ANTENNA ARRAYS THROUGH ADAPTIVE CONTROL BASED ON MACHINE LEARNING

D.K. Ulyanov, *Graduate Student*

Moscow Technical University of Communication and Informatics
(Russia, Moscow)

Abstract. *The article discusses the use of active phased array antennas through adaptive control based on machine learning. It is noted that the development and implementation of dynamic beamforming strategies in active phased array antennas (APAA) is aimed at optimizing and increasing their adaptability to specific scenarios and performance in dynamic communication and radar systems. The ability to dynamically adapt radiation patterns in response to changing system requirements, user requests, signal quality and interference levels through the integration of machine learning techniques and real-time feedback mechanisms helps improve the efficiency and responsiveness of APAA operational capabilities, promoting the development of intelligent and adaptive control systems in a wide range of applications. context of communications and radar technologies.*

Keywords: *adaptive beamforming, phased array antennas, machine learning.*