

УТВЕРЖДАЮ

проректор по науке, инновациям и
цифровизации ФГБОУ ВО «Воронеж-

ский государственный университет»,

доктор химических наук

О.А. Козадеров

2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Купцова Виталия Владимировича
«Разработка алгоритмов оценивания характеристик нестационарных каналов
мобильных пользователей в системах сотовой связи 5-го поколения», пред-
ставленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Диссертационная работа В.В. Купцова посвящена разработке методов
восстановления канала в системах связи, использующих многоэлементные
гибридные антенные решетки, а также созданию новых методов и алгоритмов
оценивания нестационарных каналов мобильных пользователей с целью по-
вышения пропускной способности и качества связи в системах сотовой связи
5-го поколения.

Для обеспечения большей пропускной способности в современных си-
стемах сотовой связи широко применяются многоэлементные антенные ре-
шетки, и по имеющимся прогнозам тенденция внедрения подобных антенных
систем в ближайшее время будет лишь усиливаться. Для эффективного фор-
мирования диаграмм направленности антенных систем на базовых станциях

необходимо знание информации о характеристиках канала на всех элементах антенной решетки. Однако из-за движения мобильных пользователей характеристики канала связи изменяются со временем тем быстрее, чем выше скорость пользователя. Это может оказывать существенное влияние на качество связи между высокомобильным пользователем и базовой станцией. Таким образом, возникает проблема прогнозирования канальной матрицы, измеренной в какой-то момент времени на конкретный интервал времени вперед, точнее, на момент времени, когда базовая станция начнет передавать данные конкретному пользователю. Особенно критична данная проблема для MU-MIMO (Multi User – Multiple Input Multiple Output) режима работы системы связи, когда передача данных нескольким пользователям осуществляется одновременно в рамках одного или нескольких общих частотно-временных ресурсных блоков PRB (Physical Resource Block). Следует отметить, что в режиме MU-MIMO подобное различие приводит к неточному формированию базовой станцией диаграммообразующих векторов для антенной системы, ошибкам при выборе схем модуляции и кодирования MCS (Modulation and Coding Scheme) и к увеличению межпользовательской интерференции. Всё это в конечном итоге может привести к существенному уменьшению производительности системы связи и общей скорости передачи данных.

В связи с вышеизложенным, можно заключить, что тема диссертации является, несомненно, актуальной. Актуальность также подтверждается большим количеством публикаций в научно-технической литературе, посвященных рассматриваемым вопросам, и активной деятельностью ведущих компаний-производителей телекоммуникационного оборудования в данной области.

В диссертации предложен ряд методов оценки канала мобильных пользователей для систем, использующих многоэлементные гибридные и цифро-

вые антенные решетки. Высокая эффективность разработанных алгоритмов подтверждается результатами компьютерного моделирования на системном уровне, которое включало в себя моделирование режима MU-MIMO.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 109 страниц, включая 40 рисунков, 3 таблицы и список литературы из 85 наименований.

Во введении дан обзор современного состояния исследований систем связи с гибридными антennыми решетками и известных методов оценки нестационарных каналов мобильных пользователей; обосновывается актуальность темы диссертации, дается краткий обзор научной литературы, формулируется цель и определяется круг решаемых задач; определяется научная новизна и практическая значимость диссертационных исследований; приводятся защищаемые положения, а также кратко излагается содержание работы.

В первой главе диссертации предложен и исследован эффективный итеративный алгоритм восстановления полной канальной матрицы в системах связи с гибридными многоэлементными антennыми решетками. На основе применения алгоритмов предсказания автором был предложен метод, позволяющий увеличить точность восстановления полной канальной матрицы на момент передачи данных базовой станцией в условиях нестационарного канала связи.

Во второй главе диссертации разработан и исследован оригинальный алгоритм предсказания каналов высокомобильных пользователей систем связи 5-го поколения с использованием параметрической модели изменений канальных коэффициентов во времени. Предложенная модель канала физически обоснована, поскольку базируется на прямом учете эффекта Доплера по каждому лучу (кластеру) многолучевого канала связи и хорошо описывает краткосрочную динамику изменений канальных коэффициентов. При этом для

оценки основных параметров данной модели (доплеровских сдвигов по отдельным лучам) автор применяет алгоритмы спектрального сверхразрешения.

В последней, третьей, главе диссертации для оценки параметров модели канальных коэффициентов автором был применен современный корневой метод минимального многочлена, изначально разработанный для пространственного сверхразрешения целей в радиолокаторах. В данной главе проводится детальное сравнение эффективности различных методов сверхразрешения для оценки доплеровских сдвигов лучей параметрической модели канала. Показано, что используемый автором для данных целей корневой метод минимального многочлена имеет ряд преимуществ.

К основным результатам диссертационной работы следует отнести: разработку итеративного алгоритма восстановления канала в системах связи, использующих гибридные схемы формирования диаграмм направленности на базовых станциях, модификацию этого алгоритма с использованием методов предсказания; разработку параметрического алгоритма предсказания канальных коэффициентов высокомобильных пользователей на дробный шаг, основанного на полигармоническом представлении канальных коэффициентов и использовании методов сверхразрешения для оценки параметров модели канала; применение сверхразрешающего метода минимального многочлена, адаптированного для оценки параметров модели канала, используемой в разработанном алгоритме предсказания.

Таким образом, диссертационная работа отличается высокой степенью научной новизны. Основные материалы диссертации опубликованы в 8 научных работах. Среди них 2 статьи в журналах, включенных в библиографическую базу данных Web of Science («Известия вузов. Радиофизика», «Акустический журнал»), 1 статья включена в базу данных RSCI (Russian Science Citation Index) («Журнал радиоэлектроники»), и 5 работ, представляющие собой опубликованные материалы докладов на научных конференциях. Автoreферат диссертации полностью раскрывает содержание диссертации.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается их соответствием с известными теоретическими результатами, результатами компьютерного моделирования, в том числе моделирования системы сотовой связи на системном уровне. Полученные автором диссертации результаты имеют большую практическую значимость и могут быть использованы при создании систем сотовой связи нового поколения, а также могут быть внедрены в действующие системы связи, поскольку предложенные автором алгоритмы не требуют внесения изменений в существующие стандарты.

Диссертация написана четким, понятным языком и хорошо оформлена. По работе имеются следующие замечания:

1. В разделе 2.6 для осуществления анализа доплеровского спектра использовалась выборка из $L = 5$ отсчётов значений канальных коэффициентов, что существенно ограничивает число возможно разрешаемых кластеров. Это эмпирический выбор или есть какие-то теоретические обоснования?
2. Во второй главе диссертации автором разработан алгоритм предсказания канала. Однако не указывается, какова максимальная доплеровская частота, для которой предложенный алгоритм предсказания будет применим?
3. Отсутствуют сведения о внедрении результатов диссертации.

Отмеченные замечания не влияют на общую, несомненно, положительную, оценку диссертации.

ВЫВОД:

Диссертационная работа Купцова Виталия Владимировича «Разработка алгоритмов оценивания характеристик нестационарных каналов мобильных пользователей в системах сотовой связи 5-го поколения» является закончен-

ной научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научные результаты и положения. По своей актуальности, достоверности и обоснованности результатов, теоретической и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Купцов Виталий Владимирович заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 - Радиофизика.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры радиофизики Воронежского государственного университета 31.08.2022, протокол №5, на заседании присутствовало 14 сотрудников кафедры, из них 3 доктора наук. Результаты голосования «за» – 14, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Отзыв составил:

Заведующий кафедрой радиофизики
Федерального государственного бюджетного учреждения
высшего образования «Воронежский государственный университет»
доктор физико-математических наук, (специальность 01.04.03 - Радиофизика)

Корчагин Юрий Эдуардович

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный университет», 394018, Россия, г. Воронеж,
Университетская площадь, 1, <https://www.vsu.ru/>, +7 (473) 220-75-21,
office@main.vsu.ru

