

О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертационную работу Купцова Виталия Владимировича на тему
«РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОЦЕНИВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
НЕСТАЦИОНАРНЫХ КАНАЛОВ МОБИЛЬНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В
СИСТЕМАХ СОТОВОЙ СВЯЗИ 5-ГО ПОКОЛЕНИЯ», представленную на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Общие сведения

Диссертационная работа Купцова В.В. выполнена на кафедре статистической радиофизики и мобильных систем связи Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ).

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.

Актуальность темы выполненной работы

Диссертационная работа Купцова В.В. посвящена разработки высокоэффективных алгоритмов оценивания характеристик каналов мобильных пользователей в современных системах сотовой связи.

В настоящее время производителями оборудования систем сотовой связи LTE (Long Term Evolution) и 5G NR (5-th Generation New Radio) повсеместно на базовых станциях применяются антенные решетки, использующие комбинированную цифро-аналоговую (гибридную) схему управления диаграммами направленности. Использование таких антенных решеток призвано обеспечить высокую гибкость системы при меньших аппаратных, вычислительных и денежных затратах. Однако, для данных решеток требуется разработка эффективных универсальных алгоритмов оценивания полной канальной матрицы, которые могут быть применены в различных современных стандартах беспроводной связи и не требуют дополнительных частотных и временных ресурсов.

Другим важным аспектом работы систем связи LTE и 5G NR в городских условиях является эффективное обслуживание высокомобильных пользователей. К

числу таковых относятся пользователи, передвигающиеся на различных транспортных средствах: велосипедах, автомобилях, наземном общественном транспорте. Характерный для них диапазон скоростей составляет 10-60 км/ч. В связи с этим актуальной становится задача разработки и создания эффективных алгоритмов предсказания канальной матрицы для произвольного момента времени, что позволило бы повысить точность настройки диаграмм направленности антенных систем при передаче данных между базовой станцией и подвижными пользователями.

Таким образом, тематика представленной диссертации является весьма перспективной и актуальной.

Цель работы

Целью работы является разработка методов восстановления полной канальной матрицы в системах связи, использующих многоэлементные антенные решетки с цифро-аналоговым (гибридным) формированием диаграмм направленности; создание новых методов и алгоритмов оценивания нестационарных каналов мобильных пользователей на основе более реалистичных параметрических моделей каналов для повышения пропускной способности и качества связи.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Полученные результаты базируются на научно обоснованных предположениях и формализованных моделях. Большинство результатов работы получены путем численного моделирования системы сотовой связи с применением методов, соответствующих общемировой практике оценки эффективности характеристик подобных систем. Данные результаты подтверждают обоснованность и корректность аналитических выводов, представленных в диссертации. Понятное представление аналитических результатов, а также результатов численного моделирования делает работу удобной для верификации и подтверждает достоверность и обоснованность основных выводов и рекомендаций.

Новизна научных результатов

Новизна научных результатов, представленных в диссертации, заключается в следующем.

В первой главе разработан итеративный алгоритм оценивания и восстановления полной канальной матрицы для LTE систем связи, использующих гибридные схемы формирования диаграмм направленности многоэлементных антенных решеток. Метод основан на оценке канальной матрицы по пилотным сигналам в восходящем канале связи и не требует дополнительных частотно-временных ресурсов. Для увеличения точности восстановления полной канальной матрицы в случае динамически меняющегося канала применены алгоритмы предсказания. Результаты, полученные путем компьютерного моделирования, показали высокую эффективность разработанных алгоритмов для мобильных пользователей. В частности показано, что применение итеративного алгоритма восстановления канальной матрицы в системах с гибридными антенными решетками позволяет добиться точности представления канала близкого к случаю использования полностью цифровой антенной решетки.

Во второй главе разработан параметрический алгоритм предсказания канала на дробный относительно периода следования пилотных сигналов шаг для высокомобильных пользователей в LTE системах связи. В основе алгоритма лежит параметрическая модель изменения канальных коэффициентов, которая представляет канальные коэффициенты в виде суперпозиции различных гармонических составляющих, частоты которых определяются доплеровскими сдвигами, возникающими при движении пользователя в условиях многолучевого распространения сигналов. Оценка параметров предложенной модели осуществляется с помощью сверхразрешающих алгоритмов спектрального анализа. Путем компьютерного моделирования на системном уровне проведено сравнение разработанного параметрического алгоритма с известным методом предсказания на дробный шаг на основе классического автокорреляционного подхода. Показано, что параметрический алгоритм для типичных средних скоростей движения пользователей (до 35 км/ч) превосходит метод прогнозирования на основе автокорреляционного подхода и требует значительно меньших ресурсов для хранения временной выборки. Проведенное компьютерное моделирование подтвердило высокую эффективность разработанного алгоритма.

В третьей главе для повышения эффективности предсказания каналов высокомобильных пользователей LTE систем связи предложено использовать для оценивания характеристик параметрической модели канала сверхразрешающий корневой метод минимального многочлена. При этом известный метод минимального многочлена адаптирован для решения задач спектрального анализа. Путем компьютерного моделирования на системном уровне проведена оценка эффективности данного подхода. Осуществлено сравнение с алгоритмом предсказания на основе

корреляционного подхода, а также с параметрическим алгоритмом, использующим другие известные сверхразрешающие методы. Показано, что данный вариант параметрического алгоритма существенно превосходит по качеству предсказания параметрический алгоритм с использованием сверхразрешающего метода Кейпона, и обладает эффективностью сравнимой с параметрическим алгоритмом на основе метода Root MUSIC. Однако использование сверхразрешающего метода минимального многочлена не требует применения дополнительных критериев для оценки числа гармонических сигналов в параметрической модели изменения канальных коэффициентов.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертационной работе все разработанные алгоритмы рассматриваются в применении к случаю одного пространственного канала пользователя. Неясно, почему не рассматривались случаи, когда пользователь имеет более одного пространственного канала.

2. В качестве одной из основных метрик эффективности предлагаемых алгоритмов автором предлагается «средняя скорость передачи данных базовой станцией». При этом не сделаны пояснения, почему была выбрана именно эта метрика, а, например, не такая общепотребительная характеристика отношение сигнал/шум.

Отмеченные замечания не являются существенными и не снижают научную ценность данной диссертационной работы и её общую оценку.

Заключение

Диссертация В.В. Купцова на тему «Разработка алгоритмов оценивания характеристик нестационарных каналов мобильных пользователей в системах сотовой связи 5-го поколения» представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему, имеющую значение для развития радиофизического подхода к решению задач пространственной обработки сигналов в антенных решетках современных систем сотовой связи.

Полученные автором в диссертационной работе результаты являются новыми, обоснованными и достоверными, имеют практическую и теоретическую значимость, с необходимой полнотой опубликованы в научных изданиях (в том числе в 3 журналах, индексируемых в базах данных RSCI, Web of Science и Scopus) и в достаточной степени апробированы на научных конференциях международного и всероссийского уровня. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

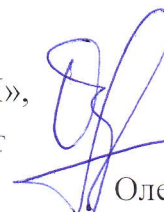
Диссертационная работа Купцова Виталия Владимировича, представленная в совет 24.2.340.03 (Д 212.166.07) при федеральном государственном автономном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», соответствует критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, утвержденным 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.

Официальный оппонент

профессор кафедры электроники и наноэлектроники

Национального исследовательского университета «МЭИ»,

д.ф.-м.н (специальность 01.04.03 – Радиофизика), доцент



Чернояров

Олег Вячеславович

111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д: 14

тел. +7 495-362-7168

email: chernoyarovov@mpei.ru

«25» августа 2022 г.



*Борис
Удальцов*

О.А. Белова
О.А. БЕЛОВА