Федеральное государственное автономное образовательное

учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов»

Молчанов Дмитрий Александрович

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ, МЕТОДОВ

ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В

БЕСПРОВОДНВІХ СЕТЯХ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Специальность 05.12.13

Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Диссертация на соискание учёной степени

доктора технических наук

Н ау ч и ые консул втаї IT Ы : Д.Т.Н., профессор Кучерявый Е.А. Д.Т.Н., профессор Самуйлов К.Е.

Москва

Оглавление

Стр.

Введение 7

Раздел 1. Модели динамической блокировки в сетях 5G NR 18

1.1 Сотовые сети ПЯТОГО поколения 18

1.1.1 Общая характеристика сетей 5G 18

1.1.2 Базовые услуги сетей 5G 22

1.1.3 Технические особенностей сетей 5G NR 24

1.1.4 Спектр для сетей радиодоступа 28

1.2 Технология радиодоступа 5G NR 30

1.2.1 Организация беспроводного интерфейса 30

1.2.2 Доступ к сети 37

1.2.3 Сосуществование LTE и NR 38

1.3 Сети доступа 5G NR в миллиметровом диапазоне 39

1.3.1 Потери распространения 39

1.3.2 Влияние ПОГОДНВІХ условий 40

1.3.3 Динамическая блокировка 42

1.4 Модели динамической блокировки в сетях 5G NR 43

1.4.1 Модели движения 44

1.4.2 Статический случай 46

1.4.3 Динамика абонентского устройства 48

1.4.4 Динамика блокаторов 50

1.4.5 Общий случай 54

1.4.6 Блокировка зданиями 54

1.5 ВВІВОДВІ 55

Раздел 2. Методология исследования характеристик

обслуживания абонентов в сетях доступа 5G NR . 57

2.1 Методы моделирования сетей радиодоступа 57

2.1.1 Стохастическая геометрия 57

з

2.1.2 Теория массового обслуживания

2.2 Компоненты моделирования сетей доступа 5G NR

2.2.1 Модели распространения

2.2.2 Модели антенн

2.2.3 Модели поиска луча

2.3 Базовая модели обслуживания NRBC

2.3.1 Модели обслуживания NR БС

2.3.2 Модели абстракции параметров канала

2.4 Выводы

Раздел 3. Оценка базовых характеристик сетей 5G NR . . .

3.1 Постановка задачи

3.1.1 Обзор исследований

3.2 Оценка помехи

3.2.1 Рассматриваемая модели системні

3.2.2 Показатели работві сети

3.2.3 Оценка помехи

3.3 Оценка отношения ОСП

3.4 Упрощенные модели

3.4.1 Направленные передатчики и всенаправленные

приемники

3.4.2 Фиксированные ВВІСОТВІ взаимодействующих объектов

3.5 Численное исследование

3.5.1 Оценка точности модели

3.5.2 Анализ влияния параметров сценария

3.5.3 Типовые сценарии взаимодействия в 5G NR

3.6 ВВІВОДВІ

Раздел 4. Методы улучшения характеристик обслуживания абонентов в сетях доступа 5G NR:

резервирование ресурсов 129

4.1 Постановка задачи 129

4.1.1 Обзор литературы 130

4.2 Модели системні 131

4.2.1 Модель сети 131

4.2.2 Модели блокировок, распространения и антенн .... 133

4.2.3 Модель трафика 134

4.2.4 Модель обслуживания 135

4.2.5 Характеристики обслуживания 136

4.3 Анализ системы 137

4.3.1 Формализация модели как СМО 138

4.3.2 Вычислительный алгоритм 143

4.3.3 Характеристики обслуживания 145

4.4 Численное исследование 146

4.4.1 Оценка точности модели 148

4.4.2 Оценка характеристик обслуживания 149

4.4.3 Оценка производительности системы 154

4.4.4 Плотность расположения NR БС 156

4.5 Выводы 160

Раздел 5. Алгоритмы улучшения характеристик

обслуживания абонентов в сетях доступа 5G NR:

функция мультисвязности 162

5.1 Введение и постановка задачи 162

5.2 Оценка верхней границы достижимой скорости 163

5.2.1 Модель системы 164

5.2.2 Оценка достижимой скорости 165

5.2.3 Численное исследование 168

5.3 Оценка влияния количества одновременных соединений . . . 168

5.3.1 Модель системы 170

5.3.2 Анализ системы 172

5.4 Оценка влияния времени поиска луча 183

5.4.1 Модель системы 184

5.4.2 Анализ системы 187

5.4.3 Численное исследование 199

5.5 Метод совместного использования функций резервирования

ресурсов и мультисвязности 204

5.5.1 Модель системы 205

5.5.2 Математическая модель системы 208

5.5.3 Имитационная модель системы 214

5.5.4 Численное исследование 216

5.6 Практические сценарии 225

5.6.1 Сети 5G NR в уличных условиях 225

5.6.2 Оценка надежности обслуживания сессий 229

5.6.3 Развертывание сетей доступа 5G NR на площадях . . 231

5.7 Выводы 233

Раздел 6. Модели и методы поддержки многоадресных

сессий в сетях доступа 5G NR 235

6.1 Постановка задачи 235

6.1.1 Обзор литературы 235

6.1.2 Иллюстрация проблемы 236

6.1.3 Структура раздела 238

6.2 Модель системы 239

6.3 Анализ системы 243

6.3.1 Формализация и решение задачи в виде СМО .... 243

6.3.2 Характеристики обслуживания 246

6.4 Численное исследование 249

6.4.1 Оценка точности предложенной модели 251

6.4.2 Эффекты параметров процессов поступления 252

6.4.3 Оптимальное расстояние между NR БС 257

6.4.4 Использование одноадресных сессий 262

6.5 Выводы 265

Заключение 267

Список литературы 276

Список рисунков 303

Список таблиц

Заключение

Научные результаты диссертационной работы заключаются в следу-ющем:

1. Анализ развития сетей связи, а также текущего состояния доку-ментов МСЭ-Т, МСЭ-Р и 3GPP по стандартизации сетей связи 5G показывает, что в обозримой перспективе решающую роль в реа-лизации сетей и систем пятого поколения будут играть сети бес-проводного доступа NR, работающие в миллиметровом диапазоне частот. Реализация двух из запланированных трех услуг связи 5G, еММВ и URLLC, будет осуществляться используя именно эту тех-нологию доступа.

2. Анализ особенностей сетей доступа 5G NR показывает, что они заметно отличаются от существующих сетей связи работающих в полосе частот ниже 6 ГГц. В частности, динамическая блокировка путей распространения сигнала может приводить к потере сессий уже принятых на обслуживание. При этом, для надежного функ-ционирования таких сетей, на участке абонентского доступа требу-ется разработка новой методологии исследования сетей 5G NR, так и комплекса моделей и методов повышения показателей качества обслуживания абонентов.

3. Разработан комплекс моделей, позволяющий характеризовать па-раметры блокировки путей распространения сигнала от NR ВС до АУ, отличающийся от известных тем, что позволяет учитывать мо-бильности как абонентов, так и блокаторов. Предложенные модели позволяют оценивать параметры процессов блокировки, такие как распределение времени в состоянии блокировки и прямой види-мости, а также интенсивность процесса блокировки путей распро-странения сигнала.