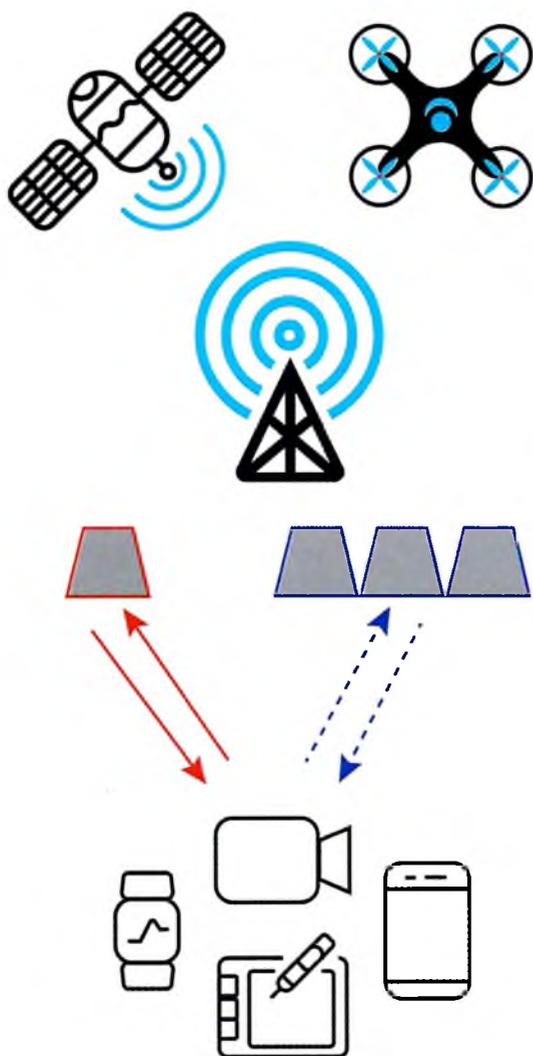


М В И З Р С В Я З И

В.О. ТИХВИНСКИЙ,
С.В. ТЕРЕНТЬЕВ,
В.А. КОВАЛЬ,
Е.Е. ДЕВЯТКИН

РАЗВИТИЕ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ОТ 5G ADVANCED К 6G: ПРОЕКТЫ, ТЕХНОЛОГИИ, АРХИТЕКТУРА



2-е дополненное издание

Содержание

Введение	9
Глава 1. Международная стандартизация сетей 5G и 6G	15
1.1. Разработка стандартов и спецификаций 5G	15
1.2. Развитие сети 5G фазы 3 в релизе 17 партнерского проекта 3GPP	20
1.3. Новые технологии релиза 17	23
1.4. Основные сетевые технологии 5G релиза 17.....	28
1.5. Общая стратегия и направления работ в релизе 18	30
1.6. Деятельность Международного союза электросвязи по сетям 6G	35
Глава 2. Международные исследовательские проекты по развитию технологий 5G	44
2.1. Ассоциации 5G-PPP и 5G AI как государственно-частные партнерства ЕС для создания 5G	44
2.2. Обзор программы ЕС FP8 «Горизонт-2020» в части исследовательских проектов создания 5G	46
2.3. Обзор исследовательских проектов по развитию сетей 6G в программе ICT-52 «Интеллектуальные подключения за пределы сетей 5G» партнерского проекта 5GPPP	62
Глава 3. Бизнес-модели и услуги в сетях 5G	69
3.1. Общая характеристика бизнес-моделей услуг 5G	69
3.2. Характеристики типовых индустриальных и пользовательских бизнес-моделей для услуг 5G	72
3.3. Оценка трафика при предоставлении различных услуг в сетях 5G	77
3.4. Услуги и приложения будущих сетей 6G	86
3.5. Бизнес-сценарии МСЭ использования услуг IMT-2030	96
Глава 4. Использование радиочастотного спектра в сетях 5G	103
4.1. Использование радиочастотного спектра для развития сетей 5G	103
4.2. Выделение радиочастотного спектра для развития сетей 5G по итогам ВКР-23	111
4.3. Использование полос частот миллиметрового диапазона волн для развертывания сетей 5G	115

4.4. Использование радиочастотного спектра в ТГц-диапазоне в сетях мобильной связи 6G	117
Глава 5. Особенности архитектуры сети радиодоступа NG-RAN	133
5.1. Основные принципы построения.....	133
5.2. Варианты подключения базовой станции gNB к опорной сети 5G Core	145
5.3. Архитектура базовой станции gNB сетей NG-RAN.....	148
5.4. Варианты реализации режима двойного подключения	161
5.5. Требования к топологии, пропускной способности и задержкам транспортной сети	168
Глава 6. Нумерология и структура частотно-временных ресурсов радиointерфейса 5G	174
6.1. Сетка частот радиointерфейса NR и синхронизации	174
6.2. Частотно-временная структура радиointерфейса NR	178
6.3. Агрегация частотных каналов в сетях радиодоступа 5G.....	193
Глава 7. Технические и ЭМС-характеристики оборудования сетей мобильной связи 5G	196
7.1. Требования МСЭ-Р к техническим и ЭМС-характеристикам радиооборудования 5G.....	197
7.2. Требования партнерского проекта 3GPP к техническим и ЭМС-характеристикам радиооборудования 5G	200
Глава 8. Особенности архитектуры опорной сети 5G Core	216
8.1. Основные принципы построения и архитектура опорной сети	216
8.2. Интеграция с сетями доступа не-3GPP	224
8.3. Идентификаторы, используемые в опорной сети.....	226
8.4. Особенности управления сессиями абонентов.....	228
8.5. Разделение опорной сети на сетевые слои (вертикальные плоскости).....	237
8.6. Управление мобильностью	242
8.7. Управление политиками	246
Глава 9. Построение антенных систем сети 5G	255
9.1. Общая характеристика технологии многоантенных систем MIMO	255

9.2. Применение технологии многоантенных систем MIMO в линии «вверх»	262
9.3. Применение технологии многоантенных систем MIMO в линии «вниз»	270
Глава 10. Перспективы создания спутникового сегмента 5G	279
10.1. Концепция применения и эталонные модели спутникового сегмента 5G	280
10.2. Спектральные аспекты создания спутникового сегмента 5G	287
10.3. Анализ стандартизации спутникового сегмента 5G партнерским проектом 3GPP и МСЭ-Р	289
10.4. Архитектура спутникового сегмента сети 5G	296
Глава 11. Управление качеством передачи данных в сети 5G	308
11.1. Основные принципы управления качеством передачи данных	308
11.2. Параметры качества передачи данных в сети 5G	311
11.3. Использование «зеркального» качества (Reflective QoS)	314
Глава 12. Построение архитектуры сети 5G для бизнес-модели виртуального оператора высокого уровня	320
12.1. Краткая характеристика типовых бизнес-моделей MVNO	320
12.2. Варианты построения архитектуры MOCN сети виртуального оператора	322
12.3. Особенности идентификации абонентов виртуального оператора 5G	323
12.4. Варианты построения архитектуры GWCN сети виртуального оператора	327
Глава 13. Управление выбором абонентским терминалом мобильной сети, технологии радиодоступа и соты	331
13.1. Управление выбором мобильной сети и технологии радиодоступа при регистрации абонентского терминала	331
13.2. Управление выбором/перевыбором соты абонентским терминалом после его регистрации в мобильной сети	337

13.3. Процедура перевыбора соты на основе статического кемпинга	341
13.4. Процедура перевыбора соты на основе профиль-ориентированного кемпинга	343
Глава 14. Применение технологий искусственного интеллекта в сетях 5G.....	349
14.1. Стандартизация использования технологий AI/ML для сетей 5G	350
14.2. Использование алгоритмов AI/ML в сетях радиодоступа NG-RAN.....	358
14.3. Использование алгоритмов AI/ML в базовой сети 5G Core	362
14.4. Архитектура системы анализа сетевых данных в сети 5G	365
14.5. Использование федеративного обучения для сети 5G Core с несколькими модулями NWDAF	370
Глава 15. Технология RedCap для оказания услуг Интернета вещей в сетях 5G.....	375
15.1. Стандартизация технологии RedCap и перспективы использования на рынке услуг Интернета вещей.....	375
15.2. Основные инновации технологических возможностей RedCap.....	378
15.3. Особенности функционирования абонентских устройств 5G RedCap	383
15.4. Процедуры начального вызова и синхронизации абонентских устройств 5G RedCap.....	385
Глава 16. Особенности построения системы специальных организационно-розыскных мероприятий в сетях 5G.....	389
16.1. Введение в современные системы СОРМ	389
16.2. Стандартизация требований СОРМ в сетях 5G	390
16.3. Архитектура и интерфейсы системы СОРМ в сетях 5G.....	393
16.4. Построение и использование протоколов системы СОРМ сетей 5G	399
16.5. Проблемные вопросы создания систем СОРМ в сетях 5G.....	402

Глава 17. Сети мобильной железнодорожной связи FRMCS на базе 5G: перспективы создания и внедрения.....	405
17.1. Анализ деятельности международных организаций связи по стандартизации сети FRMCS.....	405
17.2. Требования UIC и 3GPP к услугам и архитектуре сети FRMCS	407
17.3. Анализ трафика в сетях FRMCS	413
17.4. Использование спектра в сетях FRMCS.....	416
17.5. Построение сети FRMCS с использованием технологии 5G	417
Глава 18. Использование технологии динамического частотного шеринга DSS для развертывания совмещенных сетей 5G/LTE.....	423
18.1. Концепция динамического шеринга спектра DSS	423
18.2. Варианты технологии DSS, используемые для построения сети 5G	424
18.3. Особенности технологии DSS на основе сети MBSFN	427
18.4. Внедрение сетей 5G с технологией DSS.....	429
18.5. Совершенствование нормативно-правовой базы отрасли для внедрения сетей 5G с технологией DSS.....	431
Глава 19. Сети мобильной связи поколения 6G	434
19.1. Ключевые тенденции и показатели функционирования сетей 6G.....	435
19.2. Основные принципы создания и характеристики будущих сетей 6G	437
19.3. Использование радиочастотного спектра в сетях 6G.....	443
19.4. Потребности в электронной компонентной базе сетей 6G	448
Глава 20. Архитектура сетей 6G: Принципы и особенности построения	456
20.1. Принципы построения архитектуры сети 6G	457
20.2. Сквозной сетевой протокол NewIP архитектуры 6G	460
20.3. Общая архитектура сети 6G	463
20.4. Архитектура и особенности сетей на платформе LAPs.....	465
20.5. Архитектура и особенности сетей на платформе HAPS	468
20.6. Архитектура космического сегмента сетей 6G.....	469

Глава 21. Применение интеллектуальных реконфигурируемых поверхностей RIS в сетях мобильной связи 6G	474
21.1. Анализ вопросов стандартизации и исследования технологии RIS	475
21.2. Режимы работы и технологические решения построения RIS.....	478
21.3. Сценарии развертывания RIS в сетях мобильной связи	484
21.4. Технические и регуляторные проблемы использования RIS	488
Приложение 1. Глоссарий основных терминов 5G и 6G.....	492
Приложение 2. Технические спецификации 3GPP серии 38 – 5G фаза 1	505
Приложение 3. Отчеты и рекомендации МСЭ по 5G и 6G.....	508
Приложение 4. Варианты распределения символов в слоте между линиями «вверх» и «вниз» (3GPP TS 38.213)	511
Приложение 5. Виды модуляции радиointерфейса NR.....	513
Приложение 6. Псевдослучайные последовательности, используемые радиointерфейсом NR.....	515
Приложение 7. Перечень сервисов сетевых функций опорной сети 5G Core	518
Приложение 8. Сервисы и операции сетевой функции UDM.....	520
Приложение 9. Состав статических и динамических правил управления политиками и тарификацией PCSS Rule.....	521
Приложение 10.1. Протоколы опорной сети 5G Core.....	524
Приложение 10.2. Протоколы плоскости пользователя	527
Список использованных сокращений	529