

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТИ И НИЗКОЙ ЗАДЕРЖКИ ТРАФИКА В 5G NR

Дуплищева Наталья Витальевна,
Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия,
duplishcheva.nv@micran.ru

Рогожников Евгений Васильевич,
Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия, udzhon@mail.ru

Дмитриев Эдгар Михайлович,
Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия,
dmitriyev.edgar@gmail.com

Новичков Серафим Алексеевич,
Сколтех, Москва, Россия, s.novichkov@skoltech.ru

Лаконцев Дмитрий Владимирович,
Сколтех, Москва, Россия, s.novichkov@skoltech.ru

Агеев Евгений Юрьевич,
Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия,
eugene.ageyev@gmail.com

DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-1-22-29

Manuscript received 27 October 2021;
Accepted 17 December 2021

Работа выполнена при финансовой поддержке
Минцифры России и АО "РВК", а также Сколковского
института науки и технологий, идентификатор
соглашения предоставления субсидии
0000000007119P190002, №005/20 от 26.03.2020 г.

Ключевые слова: 5G NR, URLLC, MCS, мини-слот,
DMRS, LDPC код, eMBB

Темпы развития телекоммуникационных технологий с каждым годом увеличиваются. Всё больше устройств используют беспроводные технологии передачи информации. Тем самым возрастает нагрузка на сеть, что приводит к увеличению задержки передачи данных, снижению скорости передачи информации. Развитие телекоммуникационных технологий коснулось и трафика Интернет, а также и развития сектора автоматизированного промышленного производства (связь с промышленными роботами, т.е. цифровизация производства и развитие умного завода), индустрии здравоохранения (удаленное здравоохранение), транспортной индустрии (интеллектуальные транспортные системы, высокоскоростные поезда), энергетического сектора (умные электросети), в совокупности это приводит к увеличению требований к скорости, низкой задержке и надежности передачи информации. Эволюция систем передачи данных от 4G к 5G призвана обеспечить все возрастающие требования к сетям беспроводной связи. Однако одной из имеющихся на сегодняшний день проблем исследования сетей пятого поколения является высокая стоимость оборудования, необходимого для исследования новых протоколов, отладки алгоритмов, оптимизации архитектуры сети, организации топологии сети и применения новых сетевых решений является основной преградой в исследовании радиоканала для большинства лабораторий и научно-исследовательских центров. В связи с этим переход от натуральных экспериментов, требующих больших экономических затрат и временных ресурсов к имитационному моделированию посредством сетевого симулятора NS-3 является экономически эффективным решением в исследовании сетей пятого поколения. В данной статье представлены особенности трафика и результаты моделирования передачи данных сверхвысоконадежного трафика с низкой задержкой в сетях 5G (URLLC) с использованием сетевого симулятора NS-3.

Информация об авторах:

Дуплищева Наталья Витальевна, аспирант Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия

Рогожников Евгений Васильевич, к.т.н., доцент Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия

Дмитриев Эдгар Михайлович, ассистент Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия

Новичков Серафим Алексеевич, гл. конструктор лидирующего исследовательского центра "Сеть радиодоступа 5G с открытой архитектурой",

Сколтех, Москва, Россия

Лаконцев Дмитрий Владимирович, к.т.н., доцент, рук. центра компетенций национальной технической инициативы "Технологии беспроводной связи и интернета вещей", Сколтех, Москва, Россия

Агеев Евгений Юрьевич, доцент Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия

Для цитирования:

Дуплищева Н.В., Рогожников Е.В., Дмитриев Э.М., Новичков С.А., Лаконцев Д.В., Агеев Е.Ю. Обеспечение высокой надежности и низкой задержки трафика в 5G NR // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Том 16. №1. С. 22-29.

For citation:

Duplishchev a N.V., Rogozhnikov E.V., Dmitriyev E.M., Novichkov S.A., Lakontsev D.V., Ageev E.Y. (2022) Providing ultra-reliability and low latency of 5G NR traffic. T-Comm, vol. 16, no.1, pp. 22-29. (in Russian)

Введение

На сегодняшний день технология 5G обеспечивает сверхнадежную передачу данных с низкой задержкой, высокую скорость передачи информации, высокую плотность обслуживания, которая составляет более миллиона пользователей на один квадратный метр, минимальное время доставки пакета не более 1 мс, надежность передачи информации не менее 99,999% и максимальную энергоэффективность.

Перечисленное многообразие функциональных возможностей сетей пятого поколения строится на основе трех трафиков:

- сверхширокополосная мобильная связь (enhanced Mobile Broadband, eMBB);

- сверхвысоконадежная передача данных с низкой задержкой (Ultra-Reliable Low Latency Communication, URLLC);

- массовая межмашинная связь (massive Machine-Type Communications, mMTC).

Подробный всесторонний обзор новых технологий пятого поколения и его подробное описание структуры физического канала приведено в [1]. В [2] рассмотрены схемы кодирования URLLC и eMBB трафиков, обеспечивающие высокую пропускную способность (коды с низкой плотностью проверки четности (LDPC) и полярные коды). В работе [3] приведено подробное описание обеспечения высоконадежной связи с низкой задержкой благодаря использованию ультра-мини-слотов (UMST), продемонстрированы зависимости вероятности потери пакетов от отношения сигнал/шум с использованием UMST и приведено сравнение с традиционными методами передачи информации. Авторы статьи [4] предлагают совместное планирование URLLC и eMBB трафиков на уровне подкадра с организацией очереди, которая отслеживает и контролирует задержку каждого пакета URLLC трафика.

Целью нашей работы является исследование URLLC трафика.

Статья организована следующим образом:

- в первой главе представлены факторы обеспечивающие низкую задержку и высокую надежность трафика URLLC;

- во второй главе приводится описание модели передачи данных в сетевом симуляторе NS-3;

- в третьей главе представлены результаты моделирования.

1. Факторы обеспечивающие низкую задержку и высокую надежность URLLC трафика

В данном разделе рассмотрим способы обеспечения низкой задержки трафика и высокой надежности.

Низкую задержку URLLC трафика в 5G NR (New Radio) обеспечивают с помощью мини-слотов, специального расположения опорного сигнала демодуляции, отсутствия перемежения во временной области, использования LDPC (Low-density parity-check code, код с малой плотностью проверок на четность) кодов.

1. Частично высоконадежную связь с низкой задержкой обеспечивают благодаря использованию мини-слотов при формировании субкадра. Стандартный слот содержит в себе 14 OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing, мультиплексирование с ортогональным частотным разделением

каналов) символов. Мини-слот меньше стандартного слота и может содержать в себе 2, 4 или 7 OFDM символов. Использование мини-слотов позволяет обеспечить низкую задержку за счет незамедлительной передачи, без ожидания начала очередного стандартного слота [3].

Структурная схема субкадра приведена на рисунке 1.

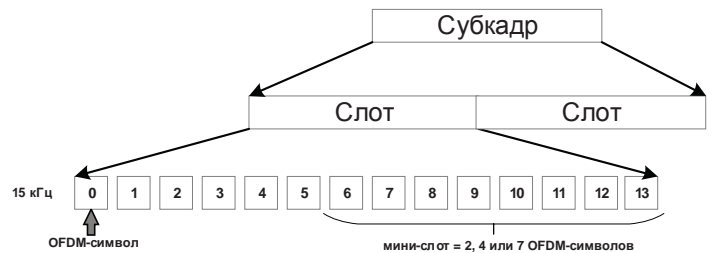


Рис. 1 Структурная схема субкадра

Еще одним способом обеспечения низких задержек является специальное расположение опорного сигнала демодуляции (DMRS, demodulation reference signal). DMRS используется приемником для получения оценок передаточной характеристики канала. Расположение DMRS в канале данных влияет на задержку демодуляции, обработку и декодирование данных в приемнике. В LTE (Long-Term Evolution) DMRS рассредоточен по всему слоту, а в 5G NR DMRS размещается в начале кадра. При таком расположении DMRS в канале не возникает необходимости в ожидании всех символов, а позволяет приемнику начать сразу выполнять оценку канала, тем самым значительно сократить задержку [1].

2. Отсутствие перемежения во временной области также способно обеспечить низкую задержку. Перемежение по разным символам OFDM во временной области обеспечивает хорошее разнесение по времени, когда продолжительность времени достаточно велика. Однако это делает невозможным конвейерную обработку в приемнике, так как приемник должен ждать поступления всех символов, которые должны быть приняты, прежде чем они будут подвергнуты чередованию, а затем перейти к декодированию. Перемежение во времени не позволит получателю обрабатывать каждый символ сразу после его получения [5].

3. При кодировании канала для URLLC необходимо учитывать сложность декодирования, а также время обработки данных. Использование LDPC кодирования позволяет распараллелить процесс декодирования в приемнике благодаря квазициклической структуре кода и тем самым значительно уменьшить время вычислений [2].

Высоконадежную связь в 5G NR обеспечивают с помощью масштабируемости интервала между поднесущими, применения специального MCS (Modulation Coding Scheme), применения частотного или пространственного разделения каналов и повторение данных.

1. В 5G NR возможно использование масштабируемого показателя (μ) для OFDM в отличие от четвертого поколения (4G). В следствии чего разнесение поднесущих (W) не имеет фиксированного значения в 15 кГц. Разнесение поднесущих (W) в 5G NR вычисляется по формуле (1).

$$W = 2^{\mu} \cdot 15 \cdot 10^3, \quad (1)$$

где μ – масштабируемый показатель.

В нижних диапазонах частот используется разнесение поднесущих в 15, 30 и 60 кГц, в верхних диапазонах частот используется разнесение поднесущих в 60, 120 и 240 кГц.

Для URLLC трафика используется разнесение поднесущих в 15 и 30 кГц.

Использование масштабируемого интервала между поднесущими позволяет повысить надежность, пропускную способность и уменьшить задержки варьируя длительностью слота (L). Как говорилось ранее стандартный слот содержит в себе 14 OFDM символов, а длина слота варьируется от интервала между поднесущими. Длину слота (L) можно рассчитать по формуле (2) [6].

$$L = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \mu} \quad (2)$$

Взаимосвязь между размерностью слота и разнесением поднесущих показана на рисунке 2.

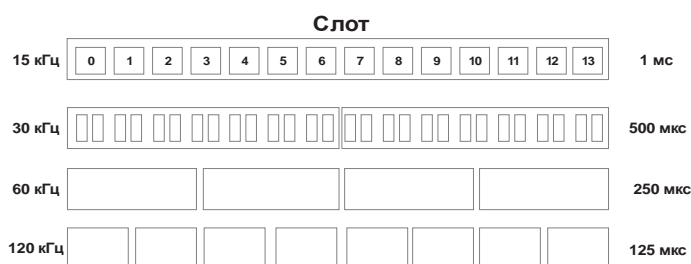


Рис. 2 Структурная схема размерности слота и разнесения поднесущих

Применение модуляции и схемы кодирования (MCS) с низкой спектральной эффективностью позволит достичь более низкий уровень пакетной ошибки ($\text{BLER} \leq 10^{-5}$) [7].

2. При применении временного разделения каналов возникают задержки, которые недопустимы для трафика URLLC. Однако для повышения надежности не противореча требование системы по обеспечению низкой задержки можно использовать частотное и пространственное разделение каналов (псевдослучайная перестройка рабочей частоты и пространственное кодирование) [6].

3. Одним из распространённых подходов в увеличении надежности является повторение данных, как для данных, так и для каналов управления. Также надежность может быть дополнительно повышена за счет дублирования пакетов более высокого уровня, к примеру, пакетов протокола "Packet Data Convergence" (PDCP) [6].

Так как URLLC должен удовлетворять двум противоречивым требованиям: низкой задержке и сверхвысокой надежности несомненно реализация физического уровня усложняется. Эта комбинация представляет собой совершенно иной тип качества обслуживания (QoS) по сравнению с традиционными приложениями мобильного широкополосного доступа.

2. Моделирование передачи данных в сетевом симуляторе NS-3

Задачами моделирования являются:

- расчёт средней задержки URLLC трафика;
- расчёт надежности URLLC трафика;

– сравнение полученных значений по надежности и средней задержке с техническим отчетом 3GPP 38.901 [8].

– получение зависимостей вероятности потери пакетов от отношения сигнал/шум для URLLC и eMBB трафиков.

Сетевой симулятор NS-3 – это программный продукт, написанный на языках программирования Python и C++ [9].

Симулятор NS-3 необходим для того, чтобы обеспечить открытую расширяемую платформу для моделирования сети и ее исследования, которое трудно или невозможно выполнить на реальной системе, в изучении поведения системы в строго контролируемой среде, а также в изучении работы сетей. Тем самым использование симулятора NS-3 помогает в проведении исследования телекоммуникационных систем.

Мы используем NS-3 5G модуль NR, написанный под лицензией GPLv2 [10], в качестве основы для нашего моделирования, а этот модуль, в свою очередь, использует модуль NS-3 mmWave [11] с точки зрения реализации физического уровня и сети радиодоступа, поддерживаются три типа моделей каналов [11]:

- модель статистического канала 3GPP;
- модель трассировки луча или измерения;
- модель статистического канала NYU для 28 и 73 ГГц.

За основу была взята модель статистического канала 3GPP. Модель статистического канала 3GPP – это трехмерная статистическая модель пространственного канала, конструкция которой является развитием модели SCM 3GPP. Учитывая определенный сценарий, трехмерные положения, скорости и внутреннее или внешнее состояние пользовательского оборудования и базовой станции, модель назначает условие: расположение объектов в зоне прямой видимости друг друга или расположение объектов вне зоны прямой видимости друг друга для каждого канала в соответствии с распределениями вероятностей для конкретного сценария. Это условие влияет как на расчет потерь на трассе, так и на формирование параметров замирания. Для потерь на трассе предусмотрены различные формулы в соответствии со сценарием, также может быть добавлен дополнительный компонент, для возможности моделирования различных видов потерь при прохождении через здание (стекло, бетон, дерево).

Хотя модель канала [12] предполагает диапазон выше 6 ГГц и тот же диапазон, описанный в техническом отчете 3GPP 38.900 [13], упомянутом в [11], но другой технический отчет 3GPP 38.901 [8] позволяет использовать ту же модель с диапазоном от 0,5 до 100 ГГц.

Канал описывается канальной матрицей $H(t, \tau)$ размером $U \times S$, где U и S – количество антенн в приемнике и передатчике. Каждая запись зависит от N различных компонентов многолучевого распространения, кластеров, которые имеют различную задержку и принимаемую мощность в соответствии с экспоненциальным профилем задержки мощности. Кластеры представляют собой комбинацию M лучей, каждый из которых имеет немного разные углы прихода и ухода в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Все эти параметры выбираются случайным образом из распределений, указанных в техническом отчете TR38.901 [8], которые меняются в зависимости от сценария, расположение объектов в прямой видимости друг от друга, внутреннее или внешнего состояния, частоты, расстояния между передатчиком и приемником и их высоты.

В модели ослабление сигнала, зависит от мобильности пользователя или изменений в сценарии, которые в свою очередь влияют на следующие параметры: на разброс задержки, угловой разброс прихода и ухода, либо в азимуте, то есть в горизонтальной плоскости (ASA, ASD), либо в зените, то есть в вертикальной плоскости (ZSA, ZSD), коэффициент Райса для условия расположения объектов в зоне прямой видимости друг друга (K) и затенение. Параметры ослабления генерируются для каждого канала и взаимно коррелируются с использованием методики, первоначально предложенной в модели канала WINNER-II [14].

Для ранее представленных сценариев и для условий расположения объектов в зоне прямой видимости друг друга и расположения объектов вне зоны прямой видимости друг друга приведены различные параметры корреляции.

Замирание в модели зависит от изменения различных компонентов многолучевого распространения, т. е. задержки различных кластеров, углов прихода и ухода лучей, изменения мощности различных кластеров и эффекта Доплера, введенный движущимся пользовательским терминалом. Термин "Быстрое замирание" используется в [13] вместо "Замирания", поэтому мы считаем термины "Быстрое замирание" и "Замирание" взаимозаменяемыми. Основное различие между условиями расположения объектов в зоне прямой видимости друг друга и расположения объектов вне зоны прямой видимости друг друга заключается в канальной матрице $H(t, \tau)$ и в наличии компонента Райса, то есть кластера с гораздо большей мощностью, чем другие.

Модули NS-3, которые формируют беспроводной канал, – это модуль Propagation, который определяет класс "PropagationLossModel", и модуль Spectrum с классом "SpectrumPropagationLossModel". Расширяя возможности первого класса, можно реализовать различные модели распространения, в то время как второй класс является основой для моделирования замираний с точки зрения спектральной плотности мощности (PSD, Spectral Power Density). В модуле mmWave физический уровень на стороне базовой станции или пользовательского оборудования использует класс "MmWaveSpectrumPhy" для имитации передачи данных с шумом и помехами.

Именно этот класс отвечает за вычисление SINR с учетом условий распространения, указанных в расширениях модуля mmWave для классов "PropagationLossModel" и "SpectrumPropagationLossModel". Распространение и затенение вычисляются в классе "MmWave3gppPropagationLossModel" или, если в модуле используется сценарий городской застройки, тогда вычисления производятся в классе "MmWave3gppBuildingPropagationLossModel". Канальная матрица $H(t, \tau)$ вычисляется в классе "MmWave3gppChannel", который также вычисляет вектор формирования луча и взаимодействует с классом "AntennaArrayModel". Диаграмма классов приведена на рисунке 3 [12].

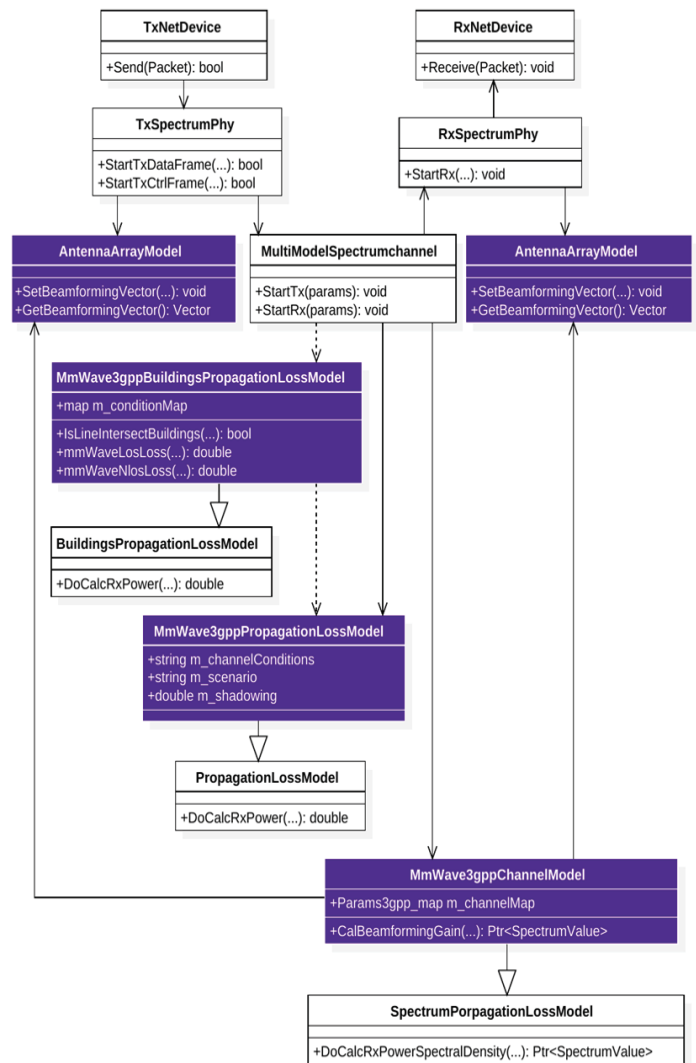


Рис. 3 Диаграмма классов. Классы, отмечены фиолетовым цветом на рисунке 3, относящиеся к модели канала 3GPP

2.1 Описание физического уровня

Обобщенная модель абстракции физического уровня NR приведена на рисунке 4 [15].

Процесс преобразования канала в систему происходит следующим образом: система принимает входные данные, состоящие из векторов SINR (Signal to Interference-plus-Noise Ratio, отношение полезного сигнала к интерферирующему шуму) для каждого выделенного ресурсного блока, далее выбирается схема модуляции и кодирования (включая индекс модуляции и кодирования и таблицы схем модуляции и кодирования, к которой он относится), производится вычисление размеров транспортного блока, а также включает в себя историю HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request, гибридный автоматический запрос). На выходе системы получаем частоту ошибок транспортного блока.



Рис. 4 Обобщенная модель абстракции физического уровня NR

Обобщенная модель абстракции физического уровня NR, приведенная на рисунке 4, состоит из следующих блоков: расчет результирующего SINR (расчет производится по формулам, приведенным в [5]), выбор базового графа LDPC, сегментация транспортного блока на один или несколько кодовых блоков (известная как сегментация кодового блока), распределение SINR по блокам физического уровня, вычисление и отображение частот ошибок кодовых блоков на частоту ошибок транспортного блока.

3. Результаты моделирования

Для проведения моделирования было решено реализовать модель с одной базовой станцией и 10 абонентами, которые находятся в неподвижном состоянии. Перечень основных параметров при моделировании представлен в таблице 1.

Таблица 1

Параметры модели

Параметр	Значение
Полоса, МГц	20
Частота, ГГц	4
Количество базовых станций	1
Количество пользователей на 1 базовую станцию	10
Мощность передающей антенны, ДБм	46
Размер преобразования Фурье	1024
MCS	Адаптивная
Размер пакета, байт	32
Пакеты в секунду	3000
Конфигурация антенны базовой станции	4x8
Конфигурация антенны UE	2x1
Модель потерь	Okumura

Первоначально для каждого абонента осуществлялась отправка не менее 100000 пакетов. Результаты данного сценария представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты моделирования с отправкой 100000 пакетов

Параметр	Значение
Среднее число пакетов на одного абонента	100201
Средняя надежность	99,997006
Средняя задержка, мс	0,817187

Исходя из результатов моделирования, приведенных в таблице 2, видно, что 100000 пакетов недостаточно для обеспечения необходимых значений по надежности. Поэтому был реализован второй сценарий с отправкой 300000 пакетов каждому абоненту. Результаты моделирования данного сценария приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты моделирования с отправкой 300000 пакетов

Параметр	Значение
Среднее число пакетов на одного абонента	300001
Средняя надежность	99,999333
Средняя задержка, мс	0,836238

В ходе моделирования второго сценария были получены необходимые значения по надежности и задержки URLLC трафика. В результате чего можно сделать вывод, что для обеспечения надежности не менее 99,999 и средней задержки не более 1 мс необходимо осуществлять отправку не менее 300000 пакетов каждому абоненту.

Для сравнения URLLC и eMBB трафиков по показателям надежности необходимо было получить зависимости вероятности потери пакетов от отношения сигнал/шум, для чего были заданы MCS, соответствующие URLLC и eMBB трафикам, взятые из стандарта [16].

В таблице 4 указаны исходные данные моделирования.

Таблица 4

Исходные данные

Параметр	Значение			
	URLLC			
Индекс MCS	10	19	15	25
Тип модуляции	QPSK	16	QAM64	QAM256
Кодовая скорость	1/3	1/2	2/3	8/9

На рисунке 5 представлены результаты моделирования.

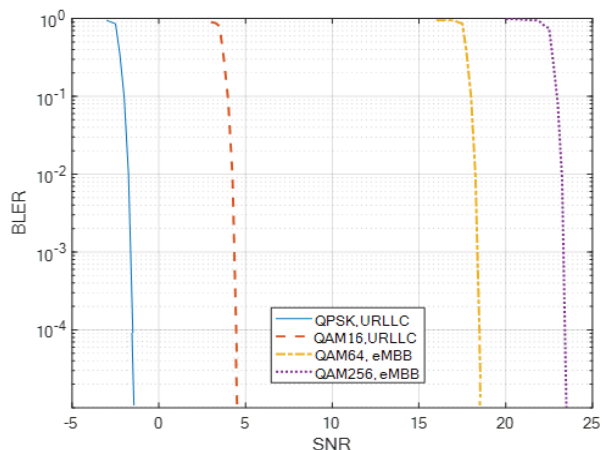


Рис. 5 Зависимость вероятности потери пакетов от отношения сигнал/шум для трафиков URLLC и eMBB

По полученным результатам, представленным на рисунке 5, видно, что URLLC трафик обеспечивает высоконадежную связь, даже при отрицательных значениях отношения сигнал/шум в отличие от eMBB трафика. URLLC более высоконадежный, из-за использования более помехозащищенных MSC, выигрыш по сравнению с eMBB составляет около 20 дБ.

Заключение

В результатах эксперимента были получены необходимые значения по надежности и задержке для исследуемого типа трафика. По итогам исследования URLLC трафика были рассчитаны значения по надежности и задержке, которые соответствуют техническому отчету 3GPP 38.901 [8].

Получены зависимости вероятности потери пакетов от отношения сигнал/шум для URLLC и eMBB трафиков. Выигрыш URLLC трафика по сравнению с eMBB трафиком составляет около 20 дБ.

Благодарность

Особую благодарность выражаем авторам научно-исследовательской работы "Математическая модель радиоканала, использующая методы машинного обучения для ускорения разработки и отладки алгоритмов сверхнадежного обмена данными (URLLC) в сетях 5G".

Литература

1. *Lin X.* et al. 5G new radio: Unveiling the essentials of the next generation wireless access technology // *IEEE Communications Standards Magazine*. 2019. Т. 3. №. 3. С. 30-37.

2. *Bae J. H.* et al. An overview of channel coding for 5G NR cellular communications // *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*. 2019. Т. 8.

3. *Kim W., Shim B.* Ultra-Mini Slot Transmission for 5G+ and 6G URLLC Network // *2020 IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall)*. IEEE, 2020. С. 1-5.

4. *Zhang W., Derakhshani M., Lambotharan S.* Stochastic Optimization of URLLC-eMBB Joint Scheduling With Queuing Mechanism // *IEEE Wireless Communications Letters*. 2020. Т.10. №.4. С. 844-848.

5. *Li C. P.* et al. 5G ultra-reliable and low-latency systems design // *2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*. IEEE, 2017. С. 1-5.

6. 5G Americas Whitepaper. New services and applications with 5G ultra-reliable low latency communications. November 2018. С.60.

7. *Mhedhbi M.* et al. Performance evaluation of 5g radio configurations for industry 4.0 // *2019 International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*. IEEE, 2019. С. 1-6.

8. 3GPP TR 38.901. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz. 2017. URL: <https://docviewer.yandex.ru/> (дата обращения 2021-07-04).

9. Учебник по симулятору сети ns-3: <https://habr.com/ru/post/497318> (дата обращения 2021-06-18).

10. *Patriciello N., Lagen S., Bojovic B., Giupponi L.* An E2E Simulator for 5G NR Networks, Elsevier Simulation Modelling Practice and Theory (SIMPAT) .2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.05534> (дата обращения 2021-06-26).

11. *Mezzavilla M., Zhang M., Polese M., Ford R., Dutta S., Rangan S., Zorzi M.* End-to-End Simulation of 5G mmWave Networks. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 20, NO. 3, THIRD QUARTER. 2018, P. 2237-2263. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/> (дата обращения 2021-06-27).

12. *Zhang M., Polese M., Mezzavilla M., Rangan S., Zorzi M.* ns-3 Implementation of the 3GPP MIMO Channel Model for Frequency Spectrum above 6 GHz. Workshop on ns-3 - WNS3 2017. ISBN: 978-1-4503-5219-2 Porto, Portugal. 2017. URL: <https://arxiv.org/pdf/1702.04822.pdf> (дата обращения: 2021-06-29).

13. 3GPP TR 38.900. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz. 2017. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/138900_138999/138900/14.02.00_60/tr_138900v140200p.pdf (дата обращения 2021-07-12)

14. IST WINNER II. 2007. D1.1.2 V1.2 WINNER II Channel Models. (2007). URL: <https://www.cept.org/files/8339/winner2-final-report.pdf> (дата обращения 2021-07-18).

15. *Lagen S.* et al. New radio physical layer abstraction for system-level simulations of 5G networks // *ICC 2020-2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE, 2020. С. 1-7.

16. 5G; NR; Physical layer procedures for data 3GPP TS 38.214 version 15.2.0 Release 15 – 2018.

PROVIDING ULTRA-RELIABILITY AND LOW LATENCY OF 5G NR TRAFFIC

Natalia V. Duplishcheva, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), Tomsk, Russia, duplishcheva.nv@micran.ru

Eugeny V. Rogozhnikov, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), Tomsk, Russia, udzhon@mail.ru
ORCID ID: 0000-0001-7599-0393

Edgar M. Dmitriyev, Assistant, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), Tomsk, Russia, dmitriyev.edgar@gmail.com

Serafim A. Novichkov, Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech), Moscow, Russia, s.novichkov@skoltech.ru

Dmitry V. Lakontsev, Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech), Moscow, Russia, s.novichkov@skoltech.ru

Evgeny Y. Ageev, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), Tomsk, Russia, eugene.ageyev@gmail.com

Abstract

The pace of development of telecommunication technologies is increasing every year. More and more devices are using wireless technologies for transmitting information. This increases the pressure on the network, which leads to an increase in the delay in the transmission of data and a decrease in the speed of transmission of information. The development of telecommunications technologies has also affected Internet traffic, as well as the development of the automated industrial production sector (communication with industrial robots, i.e., digitization of production and development of smart factories), the health sector (remote health care), the transport industry (intelligent transport systems, high-speed trains) and the energy sector (intelligent networks). Together, this increases the requirements for speed, low delay and reliability of transmission. The evolution of data transmission systems from 4G to 5G is designed to meet the ever-increasing demands of wireless networks. However, one of the current challenges in research on fifth generation networks is the high cost of equipment needed to research new protocols, fine-tune algorithms, optimize network architecture, and organize network topologies. The application of new network solutions is the main obstacle in the study of the radio channel for most laboratories and research centers. In this regard, the transition from field experiments, which require large economic costs and time resources, to simulation modeling using the NS-3 network simulator is a cost-effective solution in the study of 5G networks. This article presents the features of traffic and the results of modeling the data transmission of ultra-reliable low latency traffic in 5G networks (URLLC) using the NS-3 network simulator.

Keywords: 5G NR, URLLC, MCS, mini-slot, DMRS, LDPC codes, eMBB.

References

1. X. Lin et al. (2019). 5G new radio: Unveiling the essentials of the next generation wireless access technology. *IEEE Communications Standards Magazine*. Vol. 3. No. 3. P. 30-37.
2. J. H. Bae et al. (2019). An overview of channel coding for 5G NR cellular communications. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*. - Vol. 8.
3. W. Kim, B. Shim (2020). Ultra-Mini Slot Transmission for 5G+ and 6G URLLC Network. *2020 IEEE 92nd Vehicular Technology Conference (VTC2020-Fall)*. IEEE. P. 1-5.
4. W. Zhang, M. Derakhshani, S. Lambotharan. (2020). Stochastic Optimization of URLLC-eMBB Joint Scheduling With Queuing Mechanism. *IEEE Wireless Communications Letters*. Vol. 10. No. 4. P. 844-848.
5. C. P. Li et al. (2017). 5G ultra-reliable and low-latency systems design. *2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*. IEEE. P. 1-5.
6. 5G Americas Whitepaper. New services and applications with 5G ultra-reliable low latency communications. November 2018. P. 60.
7. M. Mhedhbi et al. (2019). Performance evaluation of 5g radio configurations for industry 4.0. *2019 International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*. IEEE. P. 1-6.
8. 3GPP TR 38.901. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz. 2017 - URL: <https://docviewer.yandex.ru/> (дата обращения 2021-07-04).
9. Ns-3 ntework: <https://habr.com/ru/post/497318> (2021-06-18).
10. N. Patriciello, S. Lagen, B. Bojovic, L. Giupponi. An E2E Simulator for 5G NR Networks, Elsevier Simulation Modelling Practice and Theory (SIM-PAT). 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.05534> (2021-06-26).
11. M. Mezzavilla, M. Zhang, M. Polese, R. Ford, S. Dutta, S. Rangan, M. (2018). Zorzi End-to-End Simulation of 5G mmWave Networks. *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 20, no. 3, third quarter. 2018, pp. 2237-2263, ?URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/> (2021-06-27).
12. M. Zhang, M. Polese, M. Mezzavilla, S. Rangan, M. Zorzi. ns-3 Implementation of the 3GPP MIMO Channel Model for Frequency Spectrum above 6 GHz. *Workshop on ns-3 – WNS3 2017*. ISBN: 978-1-4503-5219-2 Porto, Portugal. 2017. URL: <https://arxiv.org/pdf/1702.04822.pdf> (2021-06-29).
13. 3GPP TR 38.900. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz. 2017. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/138900_138999/138900/14.02.00_60/tr_138900v140200p.pdf (2021-07-12)

14. IST WINNER II. 2007. D1.1.2 V1.2 WINNER II Channel Models. (2007), - URL: <https://www.cept.org/files/8339/winner2-final-report.pdf> (2021-07-18).
15. S. Lagen et al. (2020). New radio physical layer abstraction for system-level simulations of 5G networks. *ICC 2020-2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. IEEE. P. 1-7.
16. 5G; NR; Physical layer procedures for data 3GPP TS 38.214 version 15.2.0 Release 15 – 2018.

Information about authors:

Natalia V. Duplishcheva, Graduate student of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), Tomsk, Russia

Eugeny V. Rogozhnikov, Ph.D, Assistant professor, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), Tomsk, Russia,
ORCID ID: 0000-0001-7599-0393

Edgar M. Dmitriyev, Assistant, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), Tomsk, Russia, dmitriyev.edgar@gmail.com

Serafim A. Novichkov, Lead Engineer of LRC "5G Radio Access Network with Open Architecture", Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech), Moscow, Russia

Dmitry V. Lakontsev, Head of the Competence Center of the National Technical Initiative "Technologies of Wireless Communication and the Internet of Things", Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech), Moscow, Russia

Evgeny Y. Ageev, Assistant professor, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), Tomsk, Russia