

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МАТЛАВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ФИЗИЧЕСКИХ КАНАЛОВ LTE

**Якименко С.И., студ.; Молоковский И.А., доц., к.т.н., доц.**

*(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

**Введение.** При изучении технологий мобильной связи третьего и четвертого поколений важной задачей является моделирование процессов передачи и приёма данных. Сети мобильной связи технологии LTE являются сложными, и поведение компонентов этой сети затруднительно описать математическими уравнениями. В то же время архитектура технологии LTE отличается многоуровневостью, что позволяет разбить сложные процессы, проходящие в сети, на более простые составляющие, которыми можно оперировать по отдельности.

Поэтому для исследования таких систем имитационное моделирование предпочтительнее аналитического.

Основными инструментами для моделирования сетей мобильной связи являются имитационные симуляторы системного уровня (System Level Simulator, SLS) и симуляторы физического уровня (Link Level Simulator, LLS).

Для моделирования всей системы связи, состоящей из многих базовых станций и многих пользователей, одновременно на физическом уровне и на уровне доступа к среде используется SLS. Данный инструмент позволяет учесть взаимодействие различных узлов системы в процессе работы и изучить работу алгоритмов контроля мощности, планирования, разделения общих радиоресурсов системы и т.д. Использование SLS позволяет изучить работу системы в реалистичных сценариях развертывания, например в городской обстановке [1].

Симуляторы LLS используются для моделирования процессов передачи данных на физическом и/или канальном уровне. Системы, которые возможно исследовать с помощью LLS, просты и состоят только из одной базовой станции (eNodeB) и одного пользовательского оборудования (User Equipment, UE).

**Целью работы** является моделирование физического канала (LLS) в технологии LTE и оценка его качественных характеристик.

**Выбор среды моделирования.** При выборе программного обеспечения (ПО) для имитационного моделирования следует обратить внимание на то, присутствуют ли в нем библиотеки LTE, в частности, библиотеки моделирования канального уровня. Моделируемые физические каналы, как правило, предназначены для передачи данных, например аудио- и видеосигналов. На качество передаваемого сигнала влияет множество факторов, среди которых можно выделить искажение сигнала и снижение значения отношения сигнал/шум (Signal Noise Ratio, SNR). Проще всего оценить качество физического канала, исходя из расчёта вероятности появления битовой ошибки (Bit Error Rate, BER) в зависимости от заданного значения отношения сигнал/шум.

На качество канала также влияют методы обработки данных, используемые в приёмо-передающем тракте радиоканала. Качественные показатели физических каналов улучшает концепция технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output), суть которой в одновременном использовании нескольких антенн вместо одной (Single Input Single Output, SISO), для приема/передачи нескольких потоков данных [2].

Таким образом, необходимо выбрать ПО, в котором поддерживаются различные методы обработки сигналов, современные виды модуляции, а также технологии SISO, MIMO и пр.

На данный момент существуют различные программные пакеты, позволяющие осуществить имитационное моделирование сетей мобильной связи. Рассмотрены самые популярные из них. Результаты анализа сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика программного обеспечения для моделирования

Продукт	Лицензия	Функциональность	Взаимодействие	Реализация LTE
MATLAB / Simulink	Проприетарная	Математические и инженерные расчеты, ЦОС, проектирование сетей	MATLAB	Присутствует (платные оригинальные, бесплатные сторонние библиотеки)
ns2/ns3	GNU GPL v2	Моделирование сетей различных топологий, анализ потерь пакетов, очередей, задержек	OTcl/ C++	Присутствует
OMNET++	Проприетарная	Моделирование сетей с графической визуализацией, планирование нагрузки	C++	Присутствует (бесплатные сторонние библиотеки)
OPNET Modeler	Проприетарная	Моделирование пакетных сетей и сетей мобильной связи	Графический интерфейс	В учебной версии отсутствует
Forsk Atoll	Проприетарная	Радиопланирование и оптимизация сетей различных технологий, импорт карт	Графический интерфейс	Присутствует

С учетом актуальности, стоимости, поддержки необходимых библиотек и удобства интерфейса, с точки зрения авторов, наиболее эффективными являются программные продукты MATLAB/Simulink и ns3. С учетом имеющегося опыта работы выбрано ПО Simulink.

Разработанная схема радиоканала с использованием SISO имеет вид (рис. 1):

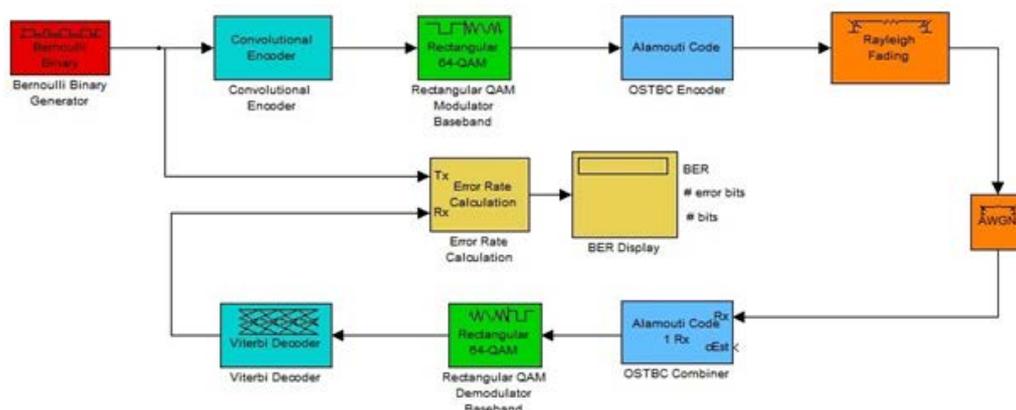


Рисунок 1 – Имитационная схема канала с использованием SISO

Для того чтобы получить систему MIMO, в блоке OSTBC Encoder следует выбрать количество передающих и приёмных антенн, скорость кода (1/2 или 3/4) и незначительно доработать изначальную схему. Например, структурная схема канала с использованием технологии MIMO 3x2 выглядит так (рис. 2):

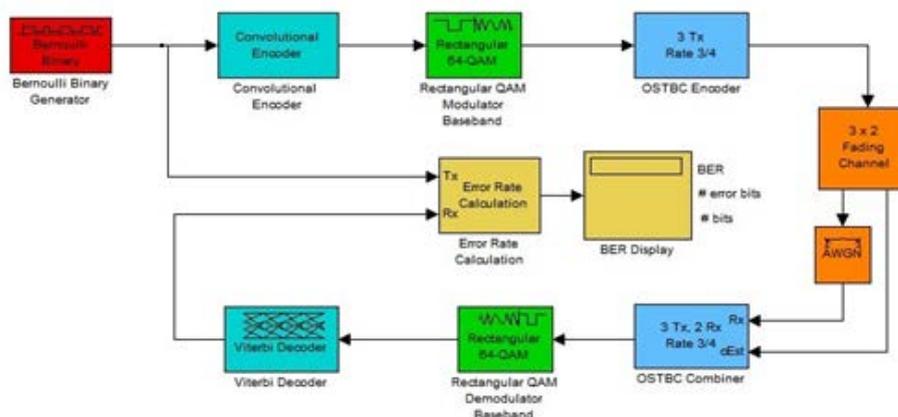


Рисунок 2 – Имитационная схема канала с использованием MIMO 3x2

**Алгоритм** работы модели состоит из таких шагов:

1) Генератор (Bernoulli Binary Generator) выдаёт случайную бинарную последовательность.

2) В двоичном свёрточном кодере (Convolutional Encoder) с помощью регистра сдвига кодируется передаваемая последовательность.

3) Сигнал поступает на модулятор (в данной схеме – 64QAM). Тип модуляции можно настроить в параметрах блока.

4) Пространственно-временной кодер формирует матрицу по определенному закону. Каждая строка матрицы поступает на передающие антенны.

5) Сигнал от передающих антенн по каналу с многолучевым замиранием (Fading Channel) поступает на приёмные антенны. В процессе передачи он претерпевает доплеровский сдвиг, временную дисперсию, а также накладывается белый шум (AGWN). В параметрах блока AGWN выставляется значение SNR для исследования достаточного уровня BER.

6) На пространственно-временном декодере (OSTBC Combiner) сигнал от двух приёмных антенн суммируется, и восстанавливается переданная последовательность.

7) Сигнал обрабатывается блоками демодулятора и декодера, а затем поступает на устройство, сравнивающее переданный и полученный сигнал (Error Rate Calculation).

**Результаты.** После запуска модели на выполнение получен график зависимости вероятности битовых ошибок от отношения сигнал/шум для различных типов модуляции.

Реальные физические каналы в LTE обладают значением вероятности потери бита  $BER=10^{-4} \dots 10^{-3}$  [3]. Оценим по построенным графикам, при каком значении отношения сигнал/шум достигается значение  $BER=10^{-4}$ .

Таблица 2 – Анализ данных, полученных в ходе моделирования

Вид модуляции	Минимальное соотношение сигнал/шум для обеспечения необходимого QoS, дБ	
	SISO	MIMO 3x4
BPSK	7,2	5,7
QPSK	10,2	8,6
16QAM	10,8	9,2
32QAM	13,6	12
64QAM	14,8	13,1

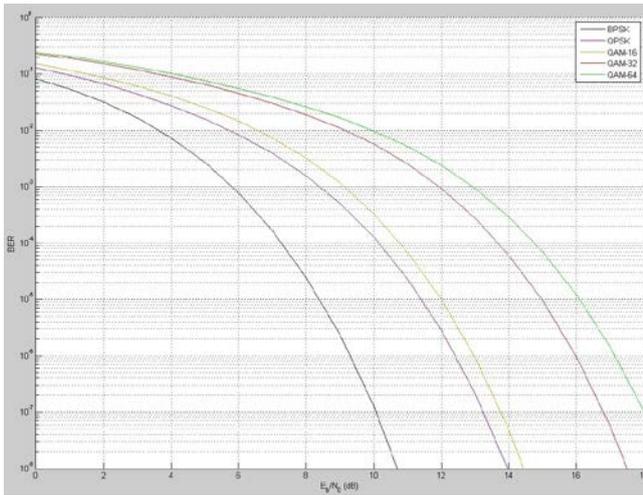


Рисунок 3 – Кривая зависимости вероятности BER от SNR для канала SISO

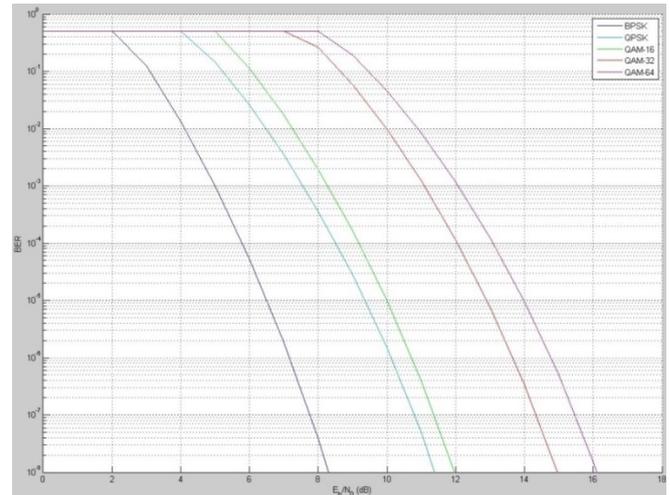


Рисунок 4 – Кривая зависимости вероятности BER от SNR для канала MIMO 3x2

Исходя из таблицы 2, можно сделать следующие выводы:

1. На качественные показатели физических каналов, кроме внешних факторов, влияют и методы обработки сигналов.
2. Наиболее помехоустойчивым видом модуляции в сетях LTE из рассмотренных является двоичная фазовая манипуляция BPSK, наименее помехоустойчивым – квадратурная амплитудная модуляция 64QAM.
3. Подтвердилось, что применение нескольких антенн для передачи и приёма сигнала (технология MIMO) улучшило качество физического канала, так как для обеспечения того же уровня битовой ошибки требуется меньшее соотношение сигнал/шум, то есть худшее состояние среды передачи данных.

Таким образом, программный пакет MATLAB/Simulink обладает широкими возможностями для имитационного моделирования мобильной связи третьего и четвертого поколения на физическом уровне (LLS). Показатели, полученные в ходе моделирования, в достаточной мере соответствуют теоретическим представлениям о передаче данных в восходящих и нисходящих каналах сети LTE.

#### Перечень ссылок

1. Шумилов, В. Ю. Разработка интерфейса между физическим и системным уровнями для восходящего канала системы мобильной связи LTE-A. / В. Ю. Шумилов, А. Ю. Трушанин, Р. О. Масленников // Труды XVI научной конференции по радиофизике, посвященной 100-летию со дня рождения А.Н. Бархатова. - Нижний Новгород, 2012. - С. 191–193.
2. Бакулин, М. Г. Технология MIMO. Принципы и алгоритмы / М. Г. Бакулин, Л. А. Варукина, В. Б. Крейнделин. – Москва : Горячая линия – Телеком – 2014. – 242 с.
3. Тихвинский, В. О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. – Москва : «Эко-Трендз», 2010 – 158 с.
4. Шелухин, О. И. Алгоритм оценки вероятности пакетирования ошибок в каналах связи систем беспроводного доступа с подвижными объектами / О. И. Шелухин, А. В. Арсеньев, В. Ю. Фоминский // «Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса». - №1(8). – 2009. - С. 70-77.
5. Ал-Джанаби, Х. Д. Connection quality improving of systems with MIMO in indirect visibility terms / Х. Д. Ал-Джанаби // 15-й Юбилейный Международный молодежный форум Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» Сб. материалов форума. Т. 4. – Харьков : ХНУРЭ. – 2011. – С. 5.