

УДК 654.165

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ В СЕТЯХ 5G НА ПРИМЕРЕ CDL-A МОДЕЛИ

ЧЕРНОВ В. С.

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина
(г. Рязань, Российская Федерация)*

E-mail: Chernov.V.713@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования факторов, влияющих на пропускную способность канальной модели пятого поколения CDL-A, а также предложены методы повышения пропускной способности.

Abstract. The following article presents the results of research on factors affecting the throughput capacity of the fifth generation CDL-A channel model, and proposes methods to increase throughput capacity.

Введение

С развитием интернета вещей растут и требования к системам беспроводной передачи информации. Стандарты нового поколения должны обеспечивать пиковую скорость до 20 Гбит/с по нисходящей линии связи и до 10 Гбит/с по восходящей линии связи; энергоэффективность на 2 порядка выше; общее число устройств до 1 млн/км² [1]. Для удовлетворения возрастающих потребностей необходимо искать пути улучшения текущих релизов стандартов связи, а также формировать новые.

Самым современным стандартом беспроводной связи является стандарт пятого поколения New Radio (5G NR) [2], а именно релиз 18 [3]. В сетях, построенных на основе данного стандарта, возможно использование канальных моделей CDL.

Целью данной статьи является исследование CDL модели, реализованной в пакете прикладных программ MatLab, а именно изучение различных факторов, влияющих на её пропускную способность.

Основная часть

CDL – Clustered Delay Line – Линия задержки по кластерам – это модели канала, которые определены для всего диапазона частот от 0,5 ГГц до 100 ГГц, в который входят диапазоны пятого поколения Sub-6GHz (ниже 6 ГГц) и mmWave (диапазон миллиметровых волн – 24-100 ГГц) [1, 2].

Три модели CDL, а именно CDL-A, CDL-B и CDL-C, построены для представления трех различных профилей канала для использования без прямой видимости (NLOS – non-line of sight), а CDL-D и CDL-E построены для прямой видимости (LOS – line of sight) [4].

Исследуемая модель обладает следующими характеристиками:

1. Городская макросота (Urban macro-cell);
2. Нисходящая линия связи без прямой видимости (Downlink, NLOS);
3. Разброс по задержке = 200 нс;
4. Базовая станция (BS – Base Station): Равномерная прямоугольная решетка (4 x 4), вертикально-поляризованная;

Абонентское оборудование (UE – User Equipment): Равномерная прямоугольная решетка (2 x 2), вертикально-поляризованная;

5. Моделирование с учётом потерь среды (path loss), затенения (shadowing) и поглощения кислорода (oxygen absorption);

6. Полоса пропускания, линейно изменяющаяся в зависимости от частоты несущей по закону:

$$BW = 0.005 * F_c \quad (1)$$

Пропускная способность модели рассчитывается в соответствии с формулой:

$$C = F \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P}{N} \cdot R \right) \quad (2)$$

где, C – пропускная способность; F – ширина полосы пропускания; I – единичная матрица; P – мощность сигнала; N – мощность шума; R – результат произведения прекодовых и канальных матриц в квадратичной форме.

$$C = BW \times \log_2 \left(I_{N_s} + \frac{P_t}{N_s} R_n^{-1} W_{BB}^H W_{RF}^H H F_{RF} F_{BB} F_{BB}^H F_{RF}^H H^H W_{RF} W_{BB} \right) \quad (3)$$

$$R_n = BW \times \sigma_n^2 W_{BB}^H W_{RF}^H W_{RF} W_{BB}$$

Таблица 1. Обозначение переменных (3)

Скаляр	Вектор/матрица
BW – полоса пропускания (Гц)	R_n – ковариационная матрица шума
N_s – кол-во потоков данны	H – канальная матрица
P_t – мощность передачи (Вт)	F_{BB}/W_{BB} – прекодовая матрица основной полосы частот в передатчике/приёмнике
σ_n^2 – мощность шума (Вт)	F_{RF}/W_{RF} – прекодовая матрица радио частот в передатчике/приёмнике
C – пропускная способность (бит/с)	I_N – Матрица тождества $N \times N$

С данной моделью проведён ряд экспериментов.

а. Изменение несущей частоты.

Вычислены зависимости пропускной способности от горизонтального расстояния между базовой станцией (BS) и пользовательским оборудованием (UE) для разных значений несущей частоты. Рассмотрены диапазоны sub-6GHz и mmWave. Диапазон Sub-6GHz используется в пригородах и сельской местности, когда необходимо обеспечить покрытие достаточно широкого диапазона при минимизации числа базовых станций. Диапазон mmWave ввиду высокого затухания сигнала с ростом расстояния напротив, внедряется в крупных городах. Проекты 5G mmWave требуют массивных антенных решеток ММО с сотней антенных элементов на базовых станциях (eNodeB). Поскольку площадь антенной решетки уменьшается пропорционально длине волны, антенная решетка для частот миллиметровых волн может быть в 100 раз меньше, чем антенная решетка для микроволновых частот.

Результат эксперимента приведён на рисунке 1.

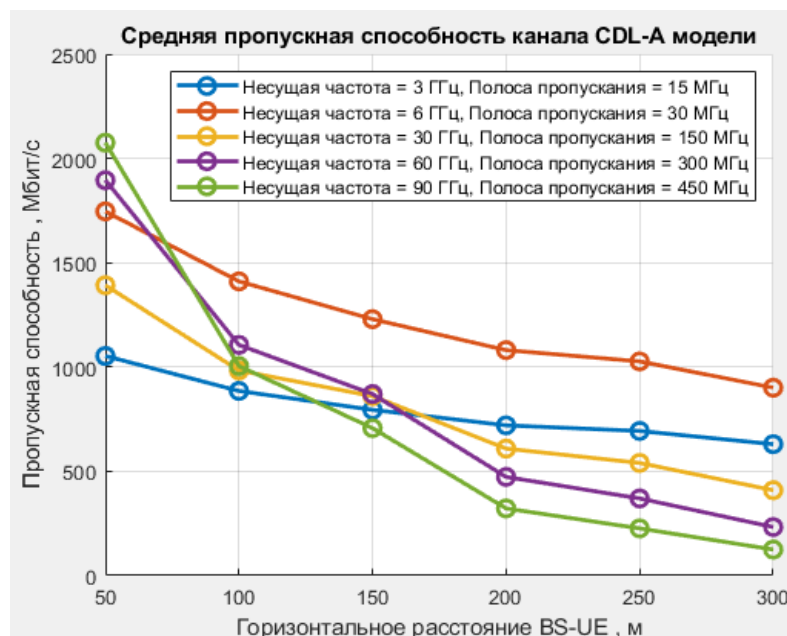


Рис. 1. Изменение несущей частоты.

Из рисунка видно, что в случае mmWave большая несущая частота ведёт к большей пропускной способности. Однако минусом mmWave является существенное затухание с увеличением расстояния, не наблюдаемое в диапазоне sub-6GHz [2].

б. Моделирование поглощения кислорода для разных несущих частот.
 Получена пропускная способность с учётом поглощения кислорода (рис.2).

Таблица 2. Поглощение кислорода на разных частотах [3]

f, ГГц	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
a(f), дБ/км	0	1	2,2	4	6,6	9,7	12,6	14,6	15	14,6	14,3	10,5	6,8	3,9	1,9	1

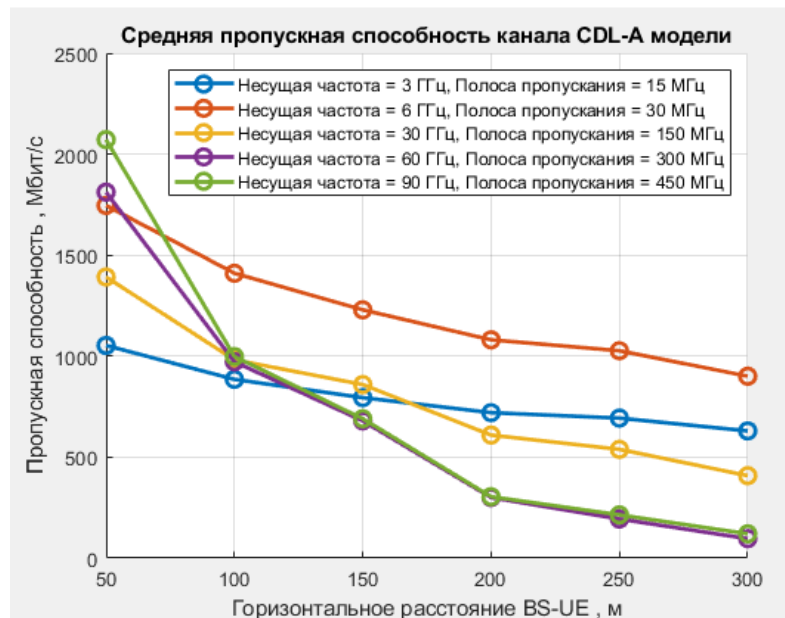


Рис. 2. Поглощение кислорода.

Сравнение рисунка 2 с рисунком 1 позволяет пронаблюдать влияние поглощения на пропускную способность. Результаты моделирования для несущих частот 3, 6, 30, 90 ГГц совпадают с результатами с учётом поглощения. При 60 ГГц заметно снижение пропускной способности ввиду того, что пиковое поглощение приходится именно на эту частоту (см. таблица 2).

в. Моделирование поглощения кислорода и затенения.

Результаты эксперимента по моделированию поглощения кислорода и затенения изображены на рисунке 3. Помимо графиков отдельного и совместного влияния вышеперечисленных эффектов на пропускную способность, для сравнения также приведён график только для потерь среды.

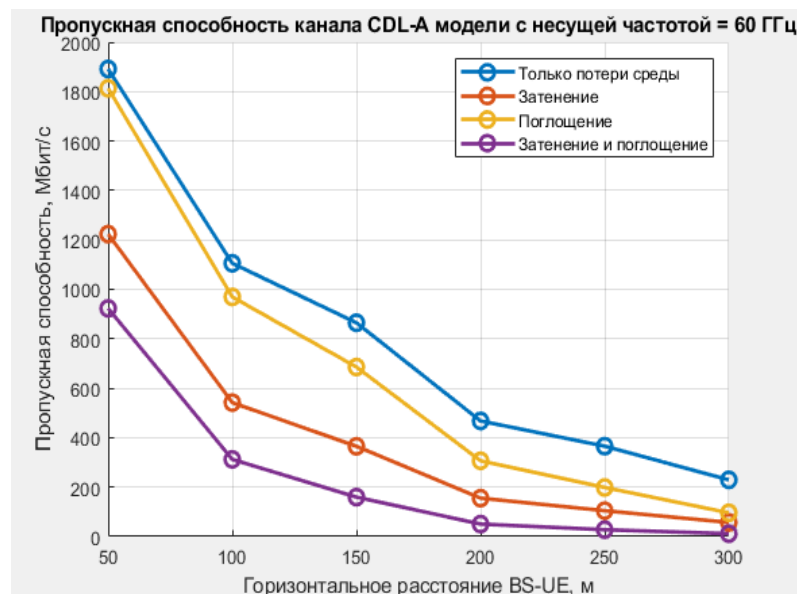


Рис. 3. Сравнительный график влияния потерь на пропускную способность.

Затенение и поглощение негативно влияют на пропускную способность. Возможным решением, позволяющим уменьшить потери, может стать весовая обработка сигнала.

Заключение

Экспериментальное исследование модели CDL-A показало, что существует ряд различных факторов, которые по-разному влияют на пропускную способность сети. Соответственно, влиять на эффект, оказываемый этими факторами на канал связи, нужно в индивидуальном порядке. Таким образом, повышение пропускной способности возможно следующими путями:

- использование технологий, которые доступны для стандарта 5G NR (Massive MIMO, 1024 QAM и т.д.);
- подбор правильной несущей частоты;
- оптимальное расположение антенн в пространстве;
- весовая обработка принятых сигналов.

Список использованных источников

1. 5G; Study on scenarios and requirements for next generation access technologies (Release 14) / 3GPP TR 38.913
2. 5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice / Mansoor Shafi, Life Fellow, IEEE, Andreas F. Molisch, Fellow, IEEE, Peter J. Smith, Fellow, IEEE, Thomas Haustein, Member, IEEE, Peiyong Zhu, Senior Member, IEEE, Prasan De Silva, Member, IEEE, Fredrik Tufvesson, Fellow, IEEE, Anass Benjebbour, Senior Member, IEEE, and Gerhard Wunder, Senior Member, - IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 35, NO. 6, JUNE 2017
3. An Overview of 5G Advanced Evolution in 3GPP Release 18 / Xingqin Lin, Ericsson IEEE
4. 5G system throughput performance evaluation using Massive-MIMO technology with Cluster Delay Line channel model and non-line of sight scenarios / John Baghous – Infocommunications Journal, VOL. 13, NO. 2, JUNE 2021
5. Technical Specification Group Radio Access Network; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 16) / 3GPP TR 38.901
6. Spatially sparse precoding in millimeter wave MIMO systems / O. E. Ayach, S. Rajagopal, S. Abu-Surra, Z. Pi and R. W. Heath, IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 13, pp. 1499-1513, Mar. 2013.