

UDC 621.391.8

Roschinsky R.S., Fedorov A.S. Wi-Fi 6 Single User Data Format Research
Исследование однопользовательского формата системы передачи данных
стандарта Wi-Fi 6

Roschinskiy Roman Sergeevich,

Engineer of Research and Education Center «Wireless
Infotelecommunication Networks», SPbSUT

Fedorov Andrey Sergeevich,

Engineer of Research and Education Center «Wireless
Infotelecommunication Networks», SPbSUT

Рощинский Роман Сергеевич,

Инженер научно-образовательного центра «Беспроводные
инфотелекоммуникационные сети», СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Федоров Андрей Сергеевич,

Инженер научно-образовательного центра «Беспроводные
инфотелекоммуникационные сети», СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Abstract. *The 802.11ax standard (Wi-Fi 6) is the latest standard in the Wi-Fi family to date. In view of the need to increase bandwidth, reduce latency, as well as the requirements for increasing the flexibility, efficiency and scalability of Wi-Fi networks, the sixth generation standard has undergone quite tangible changes compared to previous versions of the standard and has acquired new mechanisms used, some of which have successfully proved themselves in practice when using other technologies, such as mobile networks or Internet of Things networks. This paper presents the results of modeling the single-user format of the Wi-Fi 6 data transmission system in the MATLAB environment with various transmission parameters that meet the requirements valid in Russia.*

Keywords: 802.11ax, Wi-Fi 6, SNR, BER.

Аннотация. Стандарт 802.11ax (он же Wi-Fi 6) является последним на сегодняшний день стандартом семейства Wi-Fi. Ввиду потребности увеличения пропускных способностей, снижения задержек, а также требований по увеличению гибкости, эффективности и масштабируемости сетей Wi-Fi, стандарт шестого поколения претерпел достаточно ощутимые изменения по сравнению с предыдущими версиями стандарта и обзавелся новыми используемыми механизмами, часть из которых успешно показала себя на практике при использовании других технологий, например сетей мобильной связи или сетей Интернета Вещей. В работе представлены результаты моделирования однопользовательского формата системы передачи данных стандарта Wi-Fi 6 в среде MATLAB при различных параметрах передачи, удовлетворяющих требованиям, действующим на территории России.

Ключевые слова: 802.11ax, Wi-Fi 6, отношение сигнал-шум, коэффициент битовой ошибки.

Исследование однопользовательского формата системы передачи данных стандарта Wi-Fi 6 может быть осуществлено на базе модели, реализованной в программной среде MATLAB, и позволяет оценить показатель пакетной ошибки в зависимости от отношения сигнал-шум для различных задаваемых параметров передатчика, приемника и радиоканала [1]. Показатель пакетной ошибки (Packet Error Rate – PER) представляет из себя отношение числа пакетов, принятых с хотя бы одной ошибкой, к общему числу пакетов [2]. Структурная схема рассматриваемой модели представлена на рисунке 1.

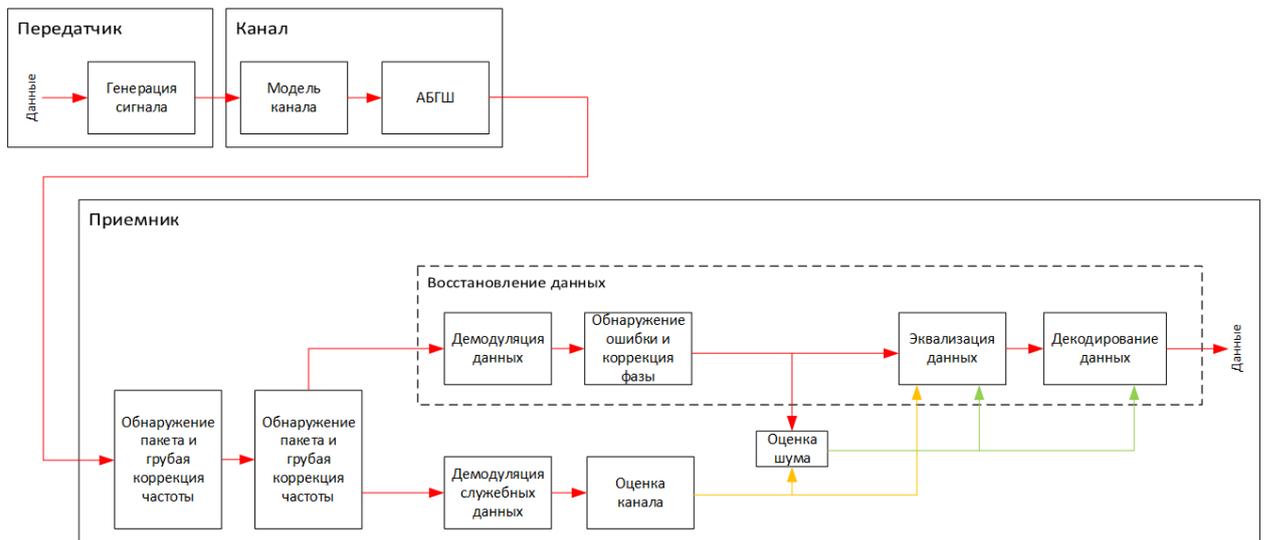


Рисунок 1. Структурная схема однопользовательского формата системы передачи данных стандарта Wi-Fi 6

Для проведения моделирования необходимо задать ряд параметров приемника и передатчика. Параметр `cfgHE.ChannelBandwidth` отвечает за ширину полосы и принимает значения 20, 40, 60 и 160 МГц (значения задаются как 'CBW20', 'CBW40', 'CBW80' и 'CBW160' соответственно). Параметрами `cfgHE.NumTransmitAntennas` и `tgaxChannel.NumReceiveAntennas` задается количество антенн на передающей и приемной стороне соответственно, формируя таким образом порядок MIMO (в нашем случае задавались значения 2×2, 4×4 и 8×8), также параметром `cfgHE.NumSpaceTimeStreams` задавалось число формируемых пространственных потоков (в нашем случае задавались значения 2, 4 и 8). Параметром `cfgHE.GuardInterval` задавалось значение длительности защитного интервала OFDMA (возможны значения 0,8, 1,6 и 3,2 мкс). Параметры `cfgHE.ChannelCoding` ('BCC' и 'LDPC') и `cfgHE.MCS` (от 0 до 11) отвечают за выбор способа кодирования и используемой модуляционно-кодирующей схемы.

Кроме того, необходимо задать размер пакета передаваемых данных, за что отвечает параметр `cfgHE.APEPLength` (в соответствии с требованиями к РЭС стандарта Wi-Fi 6, действующими на территории России [3] [4], было задано значение в 4096 байт) и параметры симуляции, включающие в себя диапазон отношения сигнал-шум и шаг его перестройки параметром `snr` (был выбран диапазон от 0 до 50 дБ с шагом в 5 дБ) и число передаваемых пакетов параметром `maxNumPackets` (значение по умолчанию составляет 100 пакетов, для моделирования и получения более достоверных статистических данных было выбрано значение в 1000 пакетов).

Результаты моделирования и расчета показателя пакетной ошибки при различных параметрах передачи, указанных в таблицах и их заголовках, представлены в таблицах 1-5. Зеленым цветом в таблицах выделены значения показателя пакетной ошибки, которые удовлетворяют требованиям [3] [4],

(показатель ошибки не превышает 10 процентов). Красным цветом выделены значения, не удовлетворяющие этим требованиям.

Таблица 1

Результаты моделирования показателя пакетной ошибки в процентах (ширина канала 20 МГц, кодирование ВСС)

Номер MCS	Отношение сигнал-шум, дБ										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
МIMO 2×2, 2 пространственных потока, защитный интервал 0,8 мкс											
0	100	100	36,7	4	0	0	0	0	0	0	0
1	100	100	100	37,8	0	0	0	0	0	0	0
2	100	100	100	100	26,2	5	4	0	0	0	0
3	100	100	100	91,2	61,1	22,9	3	0	0	0	0
4	100	100	100	100	91,7	57,9	18,3	3	0	0	0
5	100	100	100	100	100	68,9	32,4	7	1	0	0
6	100	100	100	100	100	91,7	61,1	22,5	5	2	0
7	100	100	100	100	100	100	91,7	29	14,7	4	0
8	100	100	100	100	100	100	91,7	45,8	28,2	3	2
9	100	100	100	100	100	100	100	57,9	26,2	7	2
МIMO 4×4, 4 пространственных потока, защитный интервал 0,8 мкс											
0	100	100	91,7	9	0	0	0	0	0	0	0
1	100	100	100	91,7	19,3	0	0	0	0	0	0
2	100	100	100	100	100	25,6	6	0	0	0	0
3	100	100	100	100	100	91,7	26,8	5	1	0	0
4	100	100	100	100	100	100	84,6	26,8	11,1	0	0
5	100	100	100	100	100	100	100	78,6	20	4	1
6	100	100	100	100	100	100	100	100	47,8	10	1
7	100	100	100	100	100	100	100	91,7	52,4	40,7	8
8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	52,4	15,7
9	100	100	100	100	100	100	100	100	91,7	84,6	30,6
МIMO 2×2, 2 пространственных потока, защитный интервал 3,2 мкс											
0	100	100	50	8	1	0	0	0	0	0	0
1	100	100	100	36,7	6	1	0	0	0	0	0
2	100	100	100	68,8	22,5	5	1	0	0	0	0
3	100	100	100	100	52,4	22	2	0	0	0	0
4	100	100	100	100	84,6	52,4	3	0	0	0	0
5	100	100	100	100	100	100	31,4	9	0	0	0
6	100	100	100	100	100	100	47,8	22,9	2	1	0
7	100	100	100	100	100	100	78,6	27,5	5	0	0
8	100	100	100	100	100	100	68,8	68,8	22	6	0

9	100	100	100	100	100	100	100	52,4	29,7	6	3
ММО 4×4, 4 пространственных потока, защитный интервал 3,2 мкс											
0	100	100	91,7	7	0	0	0	0	0	0	0
1	100	100	100	100	12,4	1	0	0	0	0	0
2	100	100	100	100	100	30,6	11,6	0	0	0	0
3	100	100	100	100	100	64,7	24,4	4	0	0	0
4	100	100	100	100	100	100	84,6	31,4	6	0	0
5	100	100	100	100	100	100	100	50	23,4	4	0
6	100	100	100	100	100	100	100	73,3	39,3	15,7	1
7	100	100	100	100	100	100	100	91,2	55	26,2	6
8	100	100	100	100	100	100	100	91,2	91,2	47,8	10
9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	68,8	26,2

Таблица 2

Результаты моделирования показателя пакетной ошибки в процентах (ширина канала 20 МГц, кодирование LDPC)

Номер MCS	Отношение сигнал-шум, дБ										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
ММО 2×2, 2 пространственных потока, защитный интервал 0,8 мкс											
0	100	72,3	13,5	8	0	0	0	0	0	0	0
1	100	98,1	66,4	13,7	1,1	0	0	0	0	0	0
2	100	100	92,7	51	15,1	2	1	0	0	0	0
3	100	100	100	79,5	29,7	5,5	7	1	0	0	0
4	100	100	100	96,2	67,8	28,8	7,3	1,1	0	0	0
5	100	100	100	100	93,5	63,5	20,3	4,1	0,3	0,1	0
6	100	100	100	100	98,1	73,2	28,4	8,4	1	0	0
7	100	100	100	100	100	96,5	41,9	18	4,1	0,6	0,1
8	100	100	100	100	100	98,1	74,8	32,7	7,3	1,1	0,1
9	100	100	100	100	100	100	94,4	47,6	21	4,3	0,9
10	100	100	100	100	100	100	99	71,6	34,4	8,5	1,1
11	100	100	100	100	100	100	100	94,4	51,3	19,1	4,6
ММО 8×8, 8 пространственных потоков, защитный интервал 0,8 мкс											
0	100	100	82,8	0	0	0	0	0	0	0	0
1	100	100	100	97,1	0,2	0	0	0	0	0	0
2	100	100	100	100	100	18	0	0	0	0	0
3	100	100	100	100	100	100	21,1	0	0	0	0
4	100	100	100	100	100	100	100	71,1	14,4	1,4	0
5	100	100	100	100	100	100	100	100	74,3	13,9	1,9
6	100	100	100	100	100	100	100	100	87,8	33,8	4,6
7	100	100	100	100	100	100	100	100	97,1	56,1	17,3

1	100	100	73,3	7	0	0	0	0	0	0	0
2	100	100	100	52,4	10	0	0	0	0	0	0
3	100	100	100	78,6	33,3	5	0	0	0	0	0
4	100	100	100	100	78,6	37,9	3	1	0	0	0
5	100	100	100	100	91,7	61,1	21,6	1	0	0	0
6	100	100	100	100	100	91,7	39,3	6	0	0	0
7	100	100	100	100	100	91,7	55	23,4	1	0	0
8	100	100	100	100	100	100	91,7	34,4	4	1	0
9	100	100	100	100	100	100	100	55	17,5	3	0
10	100	100	100	100	100	100	100	78,6	31,4	3	0
11	100	100	100	100	100	100	100	91,7	68,8	13,4	1
ММО 8×8, 8 пространственных потоков, защитный интервал 0,8 мкс											
0	100	100	84,6	0	0	0	0	0	0	0	0
1	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0
2	100	100	100	100	100	9	0	0	0	0	0
3	100	100	100	100	100	100	13,3	0	0	0	0
4	100	100	100	100	100	100	100	78,6	10	0	0
5	100	100	100	100	100	100	100	100	91,7	3	1
6	100	100	100	100	100	100	100	100	73,3	42,3	0
7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	84,6	10
8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	61,1
9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91,7
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ММО 2×2, 2 пространственных потока, защитный интервал 3,2 мкс											
0	100	55	8	0	0	0	0	0	0	0	0
1	100	100	57,9	12,2	0	0	0	0	0	0	0
2	100	100	100	47,8	9	2	0	0	0	0	0
3	100	100	100	84,6	44	0	1	0	0	0	0
4	100	100	100	100	68,8	35,5	8	1	0	0	0
5	100	100	100	100	100	57,9	14,1	1	0	0	0
6	100	100	100	100	100	57,9	30,6	6	0	0	0
7	100	100	100	100	100	91,7	52,4	24,4	0	0	0
8	100	100	100	100	100	100	84,6	22	4	0	0
9	100	100	100	100	100	100	91,7	68,8	13,4	1	0
10	100	100	100	100	100	100	100	91,7	28,9	3	0
11	100	100	100	100	100	100	100	91,7	44	15,5	3
ММО 8×8, 8 пространственных потоков, защитный интервал 3,2 мкс											
0	100	100	61,1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	100	100	100	91,7	0	0	0	0	0	0	0

11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
MIMO 2×2, 2 пространственных потока, защитный интервал 3,2 мкс											
0	100	73,3	4	0	0	0	0	0	0	0	0
1	100	100	57,9	3	0	0	0	0	0	0	0
2	100	100	100	42,3	6	0	0	0	0	0	0
3	100	100	100	100	29	1	0	0	0	0	0
4	100	100	100	100	100	25,6	1	0	0	0	0
5	100	100	100	100	100	78,6	7	1	0	0	0
6	100	100	100	100	100	84,6	26,8	2	0	0	0
7	100	100	100	100	100	100	55	12,4	0	0	0
8	100	100	100	100	100	100	91,7	36,7	3	0	0
9	100	100	100	100	100	100	100	47,8	12	1	0
10	100	100	100	100	100	100	100	91,7	44	1	0
11	100	100	100	100	100	100	100	100	64,7	12,4	1
MIMO 8×8, 8 пространственных потоков, защитный интервал 3,2 мкс											
0	100	100	91,7	0	0	0	0	0	0	0	0
1	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0
2	100	100	100	100	100	17,2	0	0	0	0	0
3	100	100	100	100	100	100	8	0	0	0	0
4	100	100	100	100	100	100	100	84,6	3	0	0
5	100	100	100	100	100	100	100	100	78,6	5	0
6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	42,3	1
7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91,7	4
8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	55
9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91,7
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Таблица 5

Результаты моделирования показателя пакетной ошибки в процентах (ширина канала 160 МГц, кодирование LDPC)

Номер MCS	Отношение сигнал-шум, дБ										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
MIMO 2×2, 2 пространственных потока, защитный интервал 0,8 мкс											
0	100	91,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	100	100	78,6	0	0	0	0	0	0	0	0
2	100	100	100	52,4	4	0	0	0	0	0	0
3	100	100	100	100	18	0	0	0	0	0	0
4	100	100	100	100	91,7	30,6	1	0	0	0	0
5	100	100	100	100	100	78,6	5	0	0	0	0

7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91,7	17,2
8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	78,6
9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Примеры полученных зависимостей (а также зависимостей, полученных при других параметрах) в таблицах 1-5, представлены на рисунках 3-7 (их легенда представлена на рисунке 2).

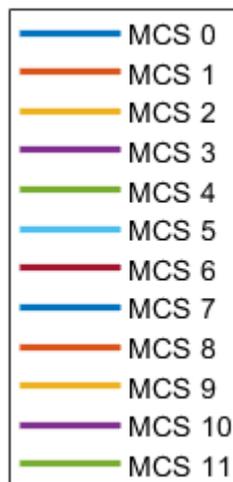


Рисунок 2. Легенда зависимостей показателя пакетной ошибки при различных параметрах передачи

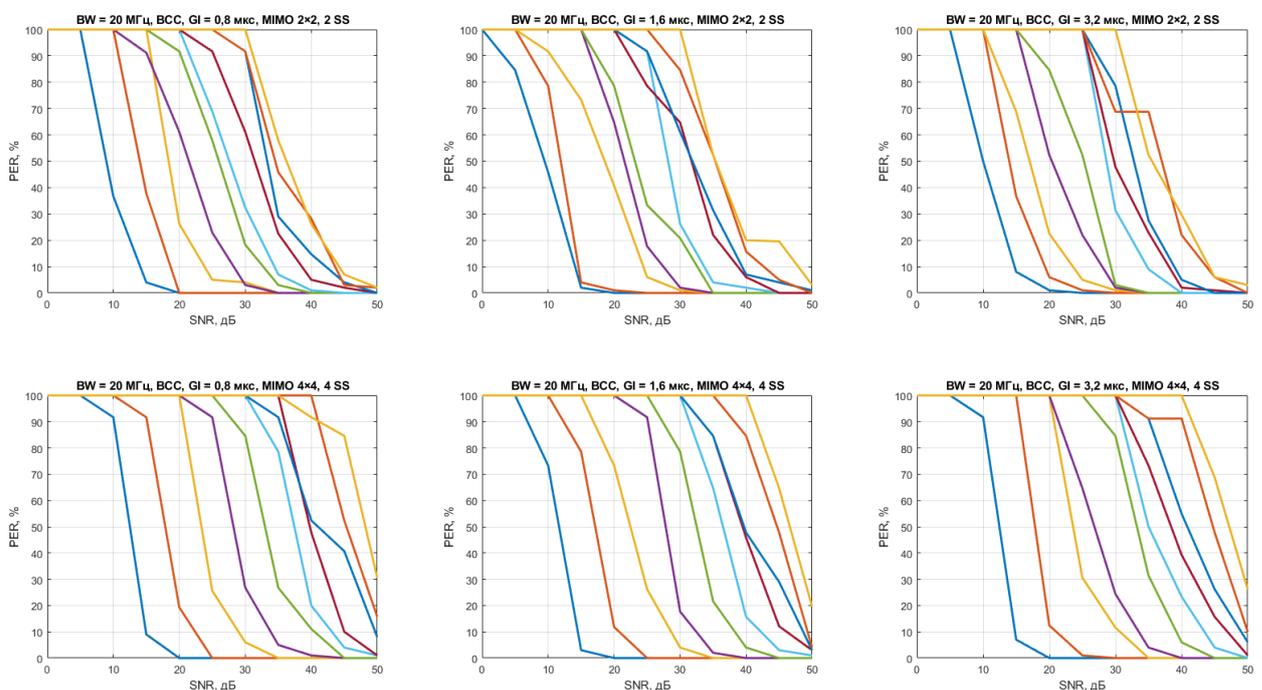


Рисунок 3. Результаты расчета коэффициента пакетной ошибки

для канала шириной 20 МГц и кодирования VCC
(при различных параметрах передачи)

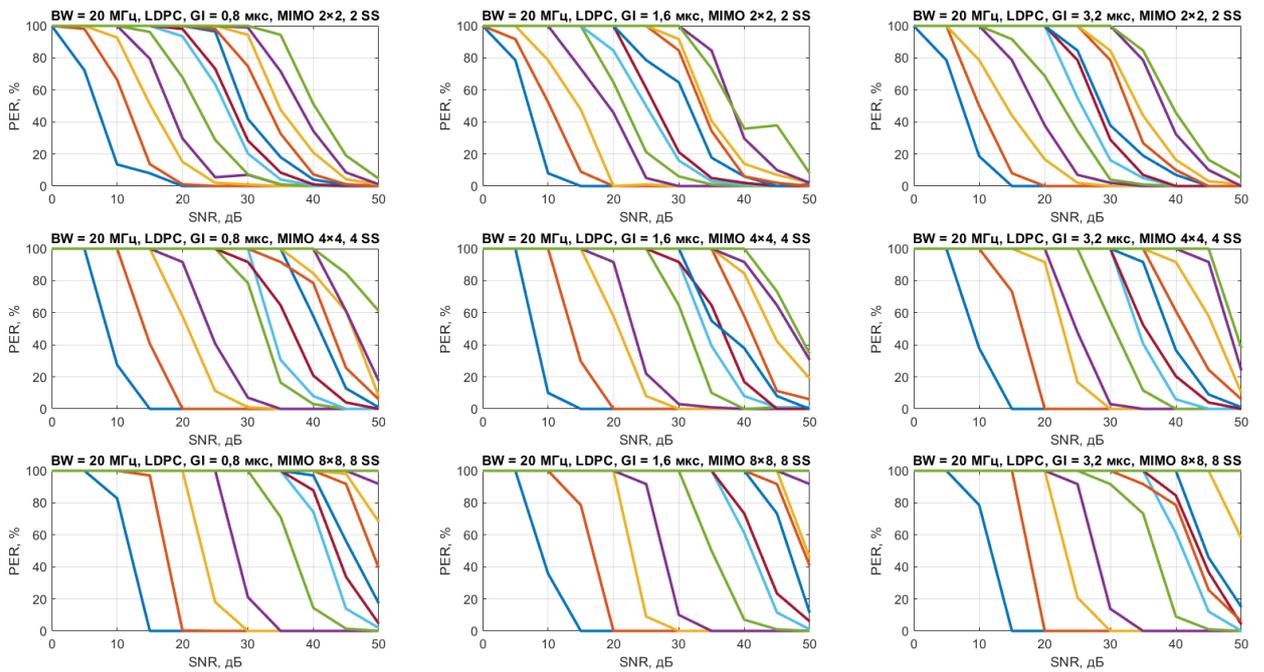


Рисунок 4. Результаты расчета коэффициента пакетной ошибки для канала шириной 20 МГц и кодирования LDPC (при различных параметрах передачи)

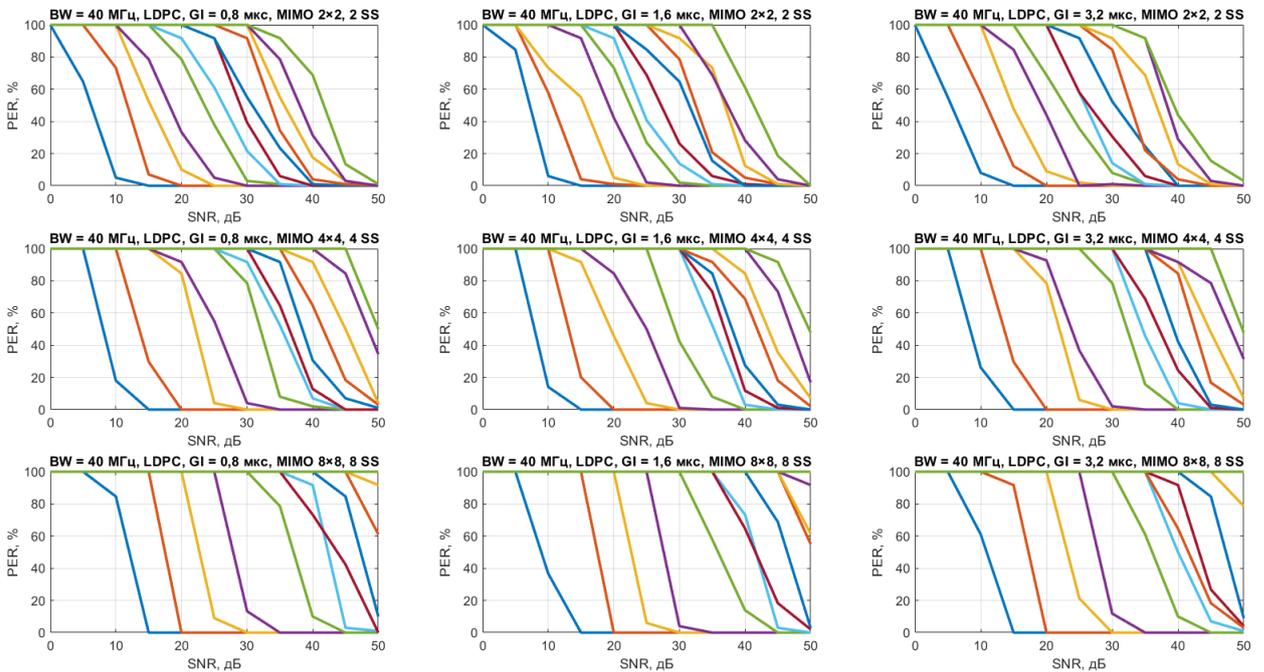


Рисунок 5. Результаты расчета коэффициента пакетной ошибки для канала шириной 40 МГц и кодирования LDPC (при различных параметрах передачи)

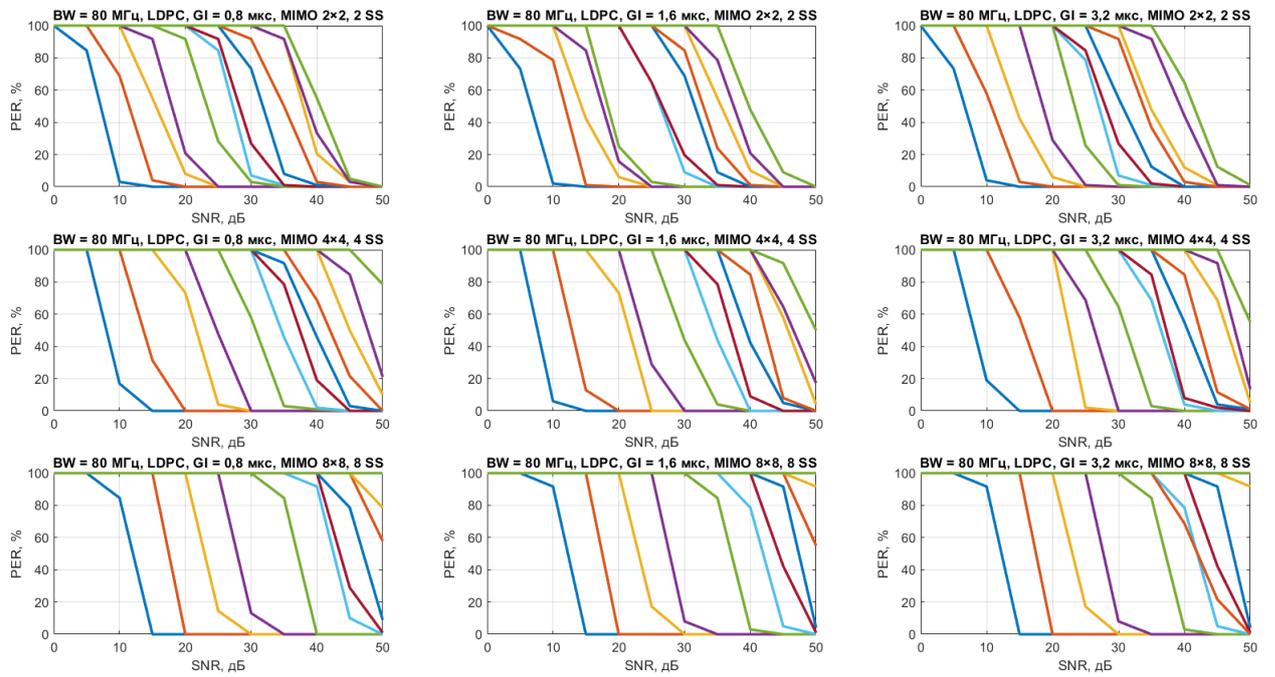


Рисунок 6. Результаты расчета коэффициента пакетной ошибки для канала шириной 80 МГц и кодирования LDPC (при различных параметрах передачи)

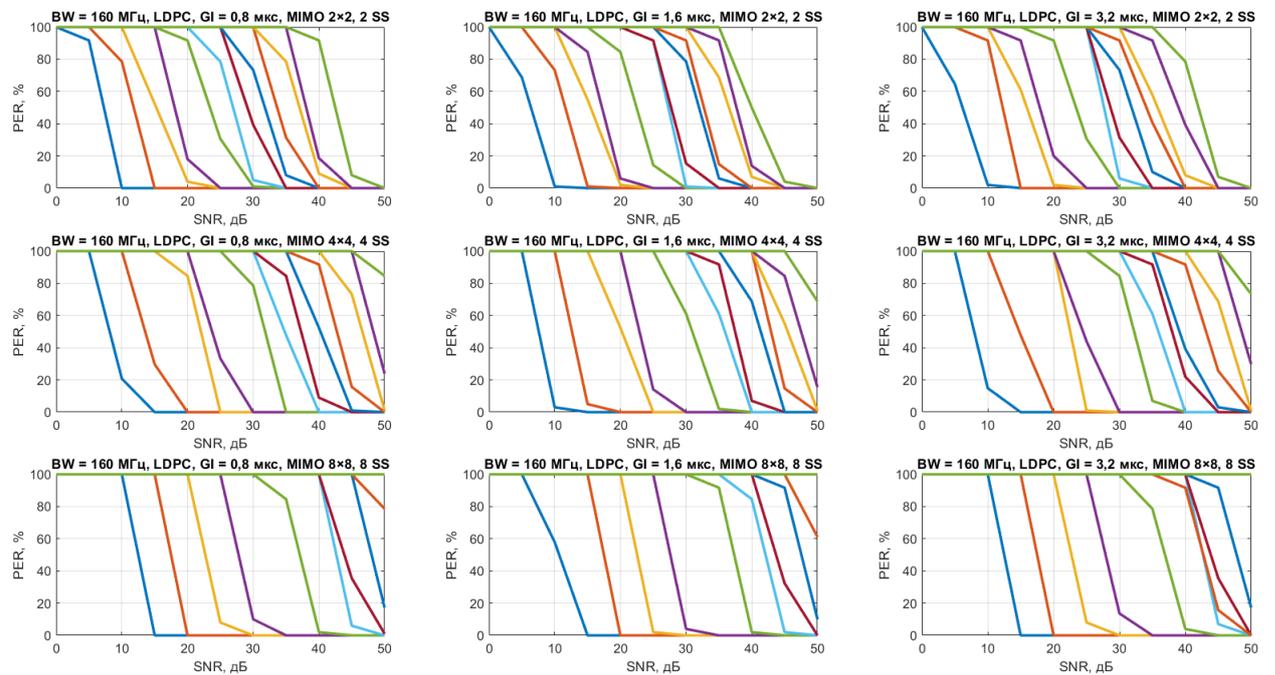


Рисунок 7. Результаты расчета коэффициента пакетной ошибки для канала шириной 160 МГц и кодирования LDPC (при различных параметрах передачи)

Таким образом, на основании полученных результатов моделирования можно сделать вывод, что устройства стандарта Wi-Fi 6 в случае использования самой простой модуляционно-кодирующей схемы (MCS 0) может корректно передавать данные при ОСШ в 15 дБ (в отдельных случаях с 10 и 15 дБ). Для использования каждой последующей MCS требуется улучшение ОСШ в среднем на 5 дБ. Кроме того, теоретически возможные высокие скорости передачи данных в стандарте Wi-Fi 6 можно получить при обеспечении качественного радиоканала с высоким отношением сигнал-шум (в приведенных результатах видно, что даже отношение сигнал-шум в 50 дБ для высших порядков модуляционно-кодирующих схем является недостаточным).

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ, регистрационный номер 122020100465-3 от 01.02.2022 в ЕГИСУ НИОКТР.

References

1. 802.11ax Packet Error Rate Simulation for Single-User Format [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/help/wlan/ug/802-11ax-packet-error-rate-simulation-for-single-user-format.html> (дата обращения: 02.10.2022).
2. Jin H., Jiang W. Handbook of Research on Developments and Trends in Wireless Sensor Networks: From Principle to Practice. – 2010.
3. Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций РФ от 14 сентября 2010 года №124 «Об утверждении Правил применения оборудования радиодоступа. Часть I. Правила применения оборудования радиодоступа для беспроводной передачи данных в диапазоне от 30 МГц до 66 ГГц» [Электронный ресурс]. – URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/pr124-10.pdf> (дата обращения: 04.03.2022).
4. Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 06.07.2020 г. № 321 «О внесении изменений в Правила применения оборудования радиодоступа. Часть 1. Правила применения оборудования радиодоступа для беспроводной передачи данных в диапазоне от 30 МГц до 66 ГГц, утвержденные приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 14.09.2010 № 124» [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202008070002> (дата обращения: 04.03.2022).