

|UDC 621.391.8

Andreev R.A., Prasolov A.A., Fedorov A.S. BLER estimation of NB-IoT narrowband physical downlink shared channel

Оценка показателя блочной ошибки нисходящего физического канала передачи данных технологии NB-IoT

Andreev Roman Aleksandrovich,

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

Prasolov Aleksandr Aleksandrovich,

Associate Professor of Department of Radio Communication and Broadcasting, Candidate of Engineering Science, SPbSUT

Fedorov Andrey Sergeevich,

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

Андреев Роман Александрович,

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

Прасолов Александр Александрович,

Доцент кафедры радиосвязи и вещания, к.т.н., 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. According to various forecasts, by 2025 the number of devices connected to IoT networks in one way or another will be from 25 to 50 billion. Given the multitasking of IoT systems, a large number of technologies are required to implement them, including radio technologies, which explains the need for research in the field of noise immunity and noise immunity. NB-IoT is recommended to cellular operators to deploy IoT networks because of a number of features and regulations in the regulatory framework. In this work, the MATLAB software simulated the operation of the downlink narrowband physical channels under various transmission parameters and operation modes, calculated the BLER depending on the signal-to-noise ratio, and presented a comparison of the obtained results and their estimation.

Keywords: NB-IoT, BLER, SNR, NPDSCH.

Аннотация. По различным прогнозам, к 2025 году число устройств, так или иначе подключенных к сетям Интернета Вещей, составит от 25 до 50 миллиардов. Учитывая многозадачность систем Интернета Вещей, требуется использование большого числа технологий для их реализации, в том числе технологий радиосвязи, чем объясняется необходимость проведения исследований в области их помехоустойчивости и помехозащищенности. Одной из таких технологий является NB-IoT, рекомендуемая операторам сотовой связи для разворачивания сетей Интернета Вещей ввиду ряда ее особенностей и существующих положений в нормативно-правовой базе. В данной работе в программном обеспечении MATLAB было проведено моделирование работы узкополосного физического каналов нисходящей линий при различных параметрах передачи и режимах работы, расчет показателя блочной ошибки в зависимости от отношения сигнал/шум, а также представлено сравнение полученных результатов и их оценка.

Ключевые слова: NB-IoT, BLER, отношение сигнал/шум, NPDSCH.

DOI 10.54092/25421085_2021_11_99

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

Данная статья посвящена моделированию работы узкополосного нисходящего физического канала передачи данных (narrowband physical downlink shared channel, NPDSCH) технологии NB-IoT. Прежде, чем перейти непосредственно к описанию и результатам моделирования, имеет смысл привести основные сведения о физическом уровне нисходящего канала рассматриваемой технологии.

В технологии NB-IoT для всех нисходящих каналов применяется модуляция OFDM, разнос поднесущих в 15 кГц и нормальный циклический префикс. Слот, длительностью в 0.5 миллисекунд, состоит из 7 OFDM-символов и 12 поднесущих, таким образом образуя канал с эффективной шириной в 180 кГц [1]. Структура слота представлена на рисунке 1 [2].

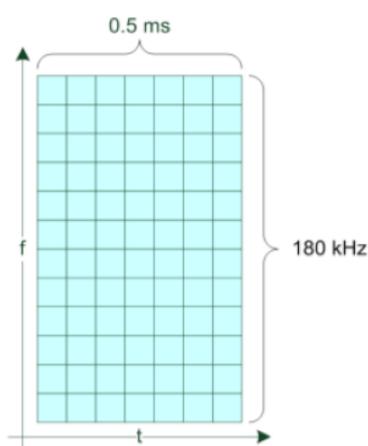


Рисунок 1. Структура слота NB-IoT в нисходящем канале

Используется та же сетка ресурсов, что и в «классическом» LTE, обеспечивая совместимость технологий и возможность работы в режиме Inband.

Два слота образуют собой субкадр длительностью 1 миллисекунда. В свою очередь 10 субкадров составляют кадр длительностью 10 миллисекунд. Структура кадра представлена на рисунке 2.

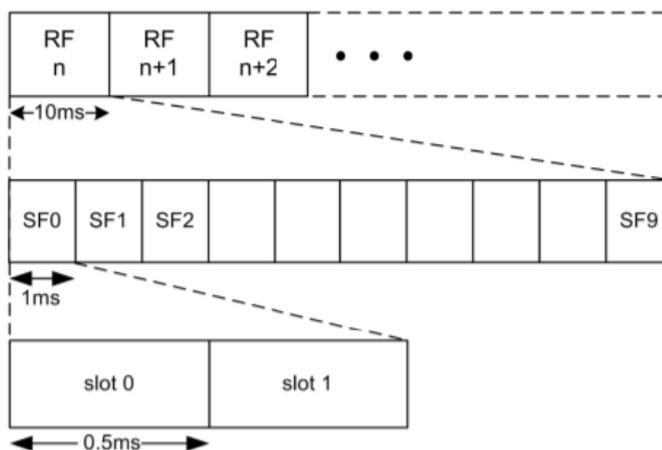


Рисунок 2. Структура кадра NB-IoT в нисходящем канале

Структура рассматриваемого канала NPDSCH представлена на рисунке 3. Также стоит отметить, что его структура полностью идентична структуре другого физического канала технологии NB-IoT – канала управления трафиком NPDSCH.

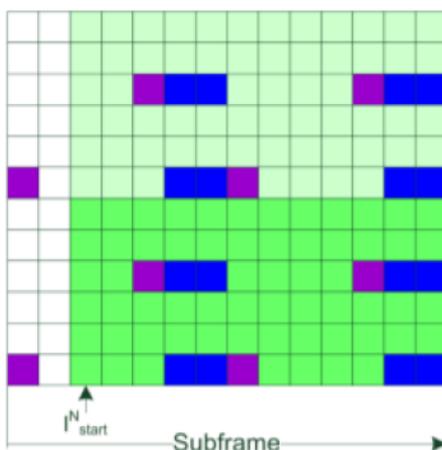


Рисунок 3. Структура канала NPDSCH

При моделировании работы канала использовалось ПО MATLAB с встроенным LTE Toolbox. Представленная там модель позволяет оценить работу канала при воздействии на него замираний и аддитивного белого гауссовского шума [3].

Этапы работы модели можно описать следующим образом:

1. Генерация структуры, отображающей собой ресурсные блоки, и ее заполнение символами канала NPDSCH;
2. Формирование сигнала в основной полосе частот с заданным видом модуляции;
3. Симуляция прохождения сигнала через зашумленный канал с замираниями;
4. Проверка полученного сигнала с помощью CRC-кода и оценка производительности канала.

В результате работы модели строится кривая показателя Block Error Rate (BLER) в зависимости от определенных параметров передачи и диапазона значений отношения сигнал/шум. Сам показатель BLER в спецификациях [4] определен как отношение количества принятых ошибочных блоков к общему числу принятых блоков. Ошибочным блок признается, если он не прошел проверку циклическим избыточным кодом (CRC).

Прежде всего необходимо задать начальные параметры для дальнейшего проведения моделирования. Такими параметрами являются число транспортных блоков, диапазон отношения сигнал/шум, число повторений работы программы для строящихся кривых.

По умолчанию число транспортных блоков в модели равно 4, однако для получения более точных результатов разработчиками рекомендуется

использовать большее число транспортных блоков. В данном случае было принято решение использовать для моделирования 50 транспортных блоков.

Диапазон значений отношения сигнал/шум от -20 до 10 дБ с шагом в 5 дБ.

Ввиду ограниченности вычислительных ресурсов для симуляции было выбрано три варианта числа повторений – 1, 2 и 4. Число повторений определено в спецификации [5], что отображено на рисунке 4.

I_{Rep}	N_{Rep}
0	1
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	192
9	256
10	384
11	512
12	768
13	1024
14	1536
15	2048

Рисунок 4. Число повторений передачи транспортных блоков

Следующим шагом был выбор модуляционно-кодирующих схем для моделирования их работы. В рассматриваемой модели за выбор модуляционно-кодирующей схемы отвечают две переменные – I_{TBS} и I_{SF} . Переменная I_{TBS} непосредственно и определяет модуляционно-кодирующую схему и может принимать значение от 0 до 12. Переменная I_{SF} определяет число субкадров для передачи символов. В совокупности эти два параметра определяют размер транспортного блока в битах. Возможные сочетания данных параметров представлены на рисунке 5.

I_{TBS}	I_{SF}							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	16	32	56	88	120	152	208	256
1	24	56	88	144	176	208	256	344
2	32	72	144	176	208	256	328	424
3	40	104	176	208	256	328	440	568
4	56	120	208	256	328	408	552	680
5	72	144	224	328	424	504	680	
6	88	176	256	392	504	600		
7	104	224	328	472	584	680		
8	120	256	392	536	680			
9	136	296	456	616				
10	144	328	504	680				
11	176	376	584					
12	208	440	680					

Рисунок 5. Модуляционно-кодирующие схемы

В данной работе были промоделированы сочетания параметров I_{TBS} и I_{SF} , представленные в таблице 1. Выбор был остановлен на этих сочетаниях,

поскольку он позволяет оценить работу рассматриваемых каналов при наименьшем, наибольшем и двух усредненных значениях возможных параметров.

Таблица 1

Выбранные модуляционно-кодирующие схемы

I_{TBS}	0				4				8			12	
I_{SF}	0	2	4	7	0	2	4	7	0	2	4	0	2
Размер транспортного блока, бит	16	56	120	256	56	208	328	680	120	392	680	208	680

Кроме того, для работы модели необходимо задать требуемый режим работы стандарта NB-IoT. Возможны 4 варианта – Standalone, Guardband, Inband (SamePCI или DifferentPCI). Каждая из определенных в таблице 3.2 модуляционно-кодирующих схем была промоделирована для каждого из этих режимов работы.

В результате работы модели были построены кривые, отображающие зависимость показателя BLER от отношения сигнал/шум. Пример такой зависимости представлен на рисунке 6.

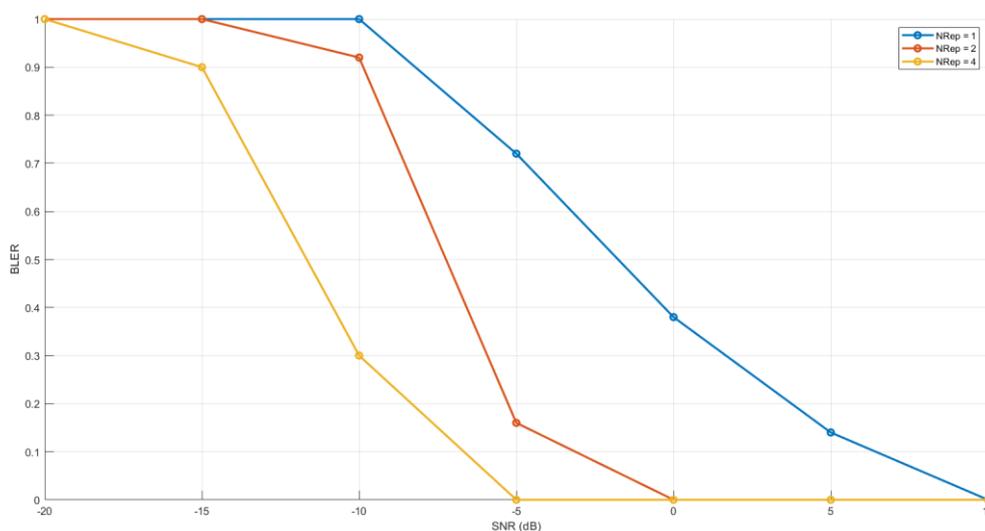


Рисунок 6. Зависимость BLER от SNR (Guardband, $I_{TBS} = 0$, $I_{SF} = 0$)

Для удобства все результаты расчетов для всех обозначенных выше режимов и параметров передачи представлены в числовом виде в таблицах 2-5. Согласно [6] для сетей связи четвертого поколения значение показателя BLER является оптимальным, если оно не превышает 10% (в таблице выделены зеленым цветом); значения от 10 до 20% в ряде случаев также можно считать приемлемыми (в таблице выделены желтым); значения, превышающие 20%, являются неприемлемыми (выделены в таблице красным) и в таком случае требуется провести работы по оптимизации параметров сети.

Таблица 4

Результаты моделирования зависимости BLER от SNR в режиме Inband-SamePCI

N_{rep}	I_{TBS}	0				4				8			12	
	I_{SF}	0	2	4	7	0	2	4	7	0	2	4	0	2
	SNR, дБ	BLER, %												
1	-20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-5	84	82	66	72	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	0	56	16	14	14	74	82	70	68	100	100	100	-	-
	5	28	8	4	2	46	22	12	12	68	60	58	-	-
2	-20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-10	100	84	82	74	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-5	40	24	30	18	96	90	78	72	100	100	100	-	-
	0	0	0	0	4	10	28	28	18	94	76	66	-	-
	5	0	0	0	0	0	0	0	2	6	16	12	-	-
4	-20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-15	100	76	96	98	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-10	50	26	38	52	98	92	96	96	100	100	100	-	-
	-5	2	6	12	8	38	30	34	42	94	76	84	-	-
	0	0	0	2	0	0	2	8	8	26	20	32	-	-
	5	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	-	-
4	-20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-15	100	76	96	98	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-10	50	26	38	52	98	92	96	96	100	100	100	-	-
	-5	2	6	12	8	38	30	34	42	94	76	84	-	-
	0	0	0	2	0	0	2	8	8	26	20	32	-	-
	5	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	-	-
4	-20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-15	100	76	96	98	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-10	50	26	38	52	98	92	96	96	100	100	100	-	-
	-5	2	6	12	8	38	30	34	42	94	76	84	-	-
	0	0	0	2	0	0	2	8	8	26	20	32	-	-
	5	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	-	-

Таблица 5

Результаты моделирования зависимости BLER от SNR в режиме Inband-DifferentPCI

N_{rep}	I_{TBS}	0				4				8			12	
	I_{SF}	0	2	4	7	0	2	4	7	0	2	4	0	2
	SNR, дБ	BLER, %												
1	-20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-5	84	82	66	72	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	0	56	16	14	14	74	82	70	68	100	100	100	-	-
	5	28	8	4	2	46	22	12	12	68	60	58	-	-
2	-20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-10	100	84	82	74	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-5	40	24	30	18	96	90	78	72	100	100	100	-	-
	0	0	0	0	4	10	28	28	18	94	76	66	-	-
	5	0	0	0	0	0	0	0	2	6	16	12	-	-
4	-20	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-15	100	76	96	98	100	100	100	100	100	100	100	-	-
	-10	50	26	38	52	98	92	96	96	100	100	100	-	-
	-5	2	6	12	8	38	30	34	42	94	76	84	-	-
	0	0	0	2	0	0	2	8	8	26	20	32	-	-
	5	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	8	-	-

Отсутствующие результаты расчета для $I_{TVS} = 12$ связаны с тем, что при сочетании данной модуляционно-кодирующей схемы и режима работы Inband скорость помехоустойчивого кода превышала единицу, что является недопустимым. Данный факт позволяет сделать вывод об ограниченности выбора модуляционно-кодирующей схемы при данном режиме работы.

В заключение можно сделать следующие выводы:

- Повторная передача транспортных блоков позволяет получить меньший коэффициент ошибок при одинаковом показателе отношения сигнал/шум чем при однократной передаче, что можно использовать при обеспечении связи на сложных участках или на краю соты.
- Удовлетворительный показатель BLER для всех сочетаний модуляционно-кодирующей схем NB-IoT начинается при отношении сигнал/шум в 0 дБ, однако и при данном значении BLER отдельных модуляционно-кодирующих схем остается неудовлетворительным. В отдельных случаях BLER удовлетворяет требованиям и при отношении сигнал/шум в -5 дБ. Стабильное удовлетворительное значение BLER начинается при отношении сигнал/шум в 5 дБ.
- Режимы работы Guardband и Standalone показали идентичные результаты. При работе в режиме Inband показатель BLER был лучше, однако ввиду особенностей его работы доступны не все сочетания модуляционно-кодирующих схем, что означает некоторую ограниченность его использования.

Исследование выполнено в рамках выполнения ПНИ по государственному заданию СПбГУТ на 2021 год.

References

1. J. Schlienz, D. Raddino. Narrowband Internet of Things Whitepaper // Rohde & Schwarz.
2. 3GPP TS 36.211. Physical channels and modulation.
3. MATLAB. NB-IoT NPDSCH Block Error Rate Simulation. URL: <https://www.mathworks.com/help/lte/ug/nb-iot-npdsch-block-error-rate-simulation.html>.
4. 3GPP TS 34.122. Radio transmission and reception.
5. 3GPP TS 36.213 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 13).
6. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Terminal conformance specification; Radio transmission and reception (TDD) (3GPP TS 34.122 version 10.0.0 Release 10).