



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-6-5-10>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.391

ПИК-ФАКТОР СИГНАЛОВ СИСТЕМ СУХОПУТНОЙ ПОДВИЖНОЙ СЛУЖБЫ 5G

КОЗЕЛ В.М., ПОДВОРНАЯ Д.А., КОВАЛЁВ К.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 7 июня 2019

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы возможных форматов сигналов сетей мобильной связи 5G (NR, IMT-2020): конфигурации числа ресурсных блоков и частотных сдвигов поднесущих, модуляционные схемы, организации физического уровня, а также широкополосность сигналов данных сетей и, как следствие, необходимость в введении запаса на линейность приемо-передающих трактов для исключения искажений или проявления эффектов блокирования при помеховых воздействиях данного сигнала на сторонние средства. Проанализированы характеристики динамического диапазона сигналов систем сухопутной подвижной службы стандарта IMT-2020, сделан вывод о шумоподобности сигналов. Для нахождения отношения максимальной амплитуды к ее среднему значению и данного отношения, не превышаемого с заданной вероятностью, использовались математические модели, реализуемые посредством среды Matlab. Авторами сделан вывод о соответствии закона распределения вероятностей модуля мгновенной амплитуды сигналов системы связи 5-го поколения распределению, характерному для узкополосного радишума. На основании проведенного исследования получены значения пик-фактора сигнала систем сухопутной подвижной службы стандарта IMT-2020 для различных их вариаций и определен достаточный уровень запаса мощности для обеспечения, с высокой вероятностью, прохождения сигналов сетей мобильной связи пятого поколения через радиотракты, исключающий искажения сигналов. Полученные результаты были применены при проведении экспертизы на электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств сотовой подвижной связи с действующими и перспективными радиоэлектронными средствами гражданского и специального назначения, а также при исследовании защиты земных станций спутниковой связи от воздействия радиоэлектронных средств сетей сотовой подвижной электросвязи стандарта IMT-2020, размещаемых на приграничных территориях.

Ключевые слова: мобильная связь, телекоммуникационные технологии, 5G, электромагнитная совместимость, сети связи, пик-фактор, динамический диапазон.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Козел В.М., Подворная Д.А., Ковалёв К.А. Пик-фактор сигналов систем сухопутной подвижной службы 5G. Доклады БГУИР. 2020; 18(6): 5-10.

PEAK FACTOR OF SIGNALS OF 5G MOBILE SERVICE SYSTEMS

VICTOR M. KOZEL, DANA A. PODVORNAYA, KONSTANTIN A. KOVALEV

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 7 June 2019

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. This article discusses the possible formats of signals of 5G mobile communication networks (NR, IMT-2020): configurations of the number of resource blocks and frequency shifts of subcarriers. modulation schemes, organizations of the physical level, as well as the broadband signals of these networks and, as a result, the need for introducing a margin on the linearity of the transceiver's paths to eliminate distortion or the manifestation of blocking effects when the signal interferes with third-party means. We analyze the characteristics of the dynamic range of the signals from IMT-2020 ground mobile systems and make a conclusion about the noise-like signals. To find the ratio of the maximum amplitude to its average value and a given ratio not exceeded with a given probability, the Matlab mathematical models were used. We infer that the law of probability distribution of the module of the instantaneous amplitude of the 5G signals corresponds to the distribution characteristic of narrow-band radio noise. Based on the study, the peak factor of the signal of the IMT-2020 ground mobile systems for various variations is obtained and a sufficient level of power reserve is provided to ensure, with high probability, the transmission of the 5G signals through radio paths, eliminating signal distortion. The results of this study were applied in the examination of the electromagnetic compatibility of radio electronic devices of cellular mobile communications with existing and promising electronic means of civil and special purposes and in the study of the protection of ground satellite stations from the effects of radio electronic means of IMT-2020 cellular mobile telecommunication networks located at border territories.

Keywords: mobile communication, telecommunication technology, 5G, electromagnetic compatibility, networks, communication networks, peak factor, dynamic range.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Kozel V.M., Podvornaya D.A., Kovalev K.A. Peak factor of signals of 5G mobile service systems. Doklady BGUIR. 2020; 18(6): 5-10.

Введение

Техническими спецификациями новой технологии связи 5G (NR, IMT-2020) определены форматы радиоинтерфейса, предполагающие агностический способ управления пропускной способностью сети связи. В основу положен метод организации множественного доступа к каналам связи на основе технологии OFDM с использованием циклического префикса. При этом предполагается адаптивное изменение модуляционной схемы и шага поднесущих частот в групповом сигнале. Использование большого количества поднесущих частот с различными модуляционными схемами при формировании сигналов технологии связи 5G вызывает предположение о возможно высоком их пик-факторе, что обуславливает предъявление особых требований к верхней границе динамического диапазона соответствующих радиотрактов с целью исключения недопустимых искажений сигнала.

В связи с вышеизложенным представляет интерес определение значения пик-фактора радиосигнала в сетях связи 5G с учетом широкого спектра возможных его структурных вариаций.

Обобщенный формат сигналов сетей связи 5G

Наиболее перспективной для сетей связи ИМТ-2020 на начальной стадии внедрения в Республике Беларусь является полоса частот $n78$ (3300 – 3800 МГц). Схема множественного доступа для физического уровня основана на мультиплексировании с ортогональным частотным разделением (OFDM) с циклическим префиксом (CP). Для поддержки передачи в непарном спектре активируется дуплексный режим с временным разделением (TDD).

Спецификация 3GPP для рассматриваемой полосы частот предусматривает 28 различных конфигураций числа ресурсных блоков и частотных сдвигов поднесущих. Кроме того, каждая конфигурация предусматривает использование пяти модуляционных схем. Таким образом, общая совокупность возможных форматов сигналов составляет 140 вариантов.

Ресурсный блок радиосигнала содержит 12 поднесущих с варьируемым частотным интервалом. На каждой поднесущей поддерживаются следующие схемы модуляции:

- в нисходящем канале, QPSK, 16QAM, 64QAM и 256QAM;
- в восходящем канале, QPSK, 16QAM, 64QAM и 256QAM для OFDM с CP и $\pi/2$ -BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM и 256QAM для DFT-s-OFDM с CP.

Физический уровень сетей связи пятого поколения предполагает организацию управления пропускной способностью совместным управлением скоростью передачи и организацией очередей (агностический способ управления пропускной способностью), позволяя физическому уровню адаптироваться к различным распределениям спектра.

Возможные варианты конфигурации физического уровня сетей 5G (частотный сдвиг поднесущих, количество ресурсных блоков, полоса частот радиоканала и величина защитного интервала) отражены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Количество ресурсных блоков для различных конфигураций сигнала 5G
Table 1. Number of resource blocks for different 5G signal configurations

| Разнос поднесущих, кГц Subcarrier spacing, kHz | Ширина полосы частот радиоканала, МГц Radio channel bandwidth, MHz | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} |
| 15 | 25 | 52 | 79 | 106 | 133 | 160 | 216 | 270 | N.A | N.A | N.A | N.A | N.A |
| 30 | 11 | 24 | 38 | 51 | 65 | 78 | 106 | 133 | 162 | 189 | 217 | 245 | 273 |
| 60 | N.A | 11 | 18 | 24 | 31 | 38 | 51 | 65 | 79 | 93 | 107 | 121 | 135 |

Таблица 2. Величина защитного интервала для различных конфигураций сигнала 5G
Table 2. The magnitude of the guard interval for different configurations of the 5G signal

| Разнос поднесущих, кГц Subcarrier spacing, kHz | Ширина полосы частот радиоканала, МГц Radio channel bandwidth, MHz | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} | N_{RB} |
| 15 | 243 | 313 | 383 | 453 | 523 | 593 | 553 | 693 | N.A | N.A | N.A | N.A | N.A |
| 30 | 505 | 665 | 645 | 805 | 785 | 945 | 905 | 1045 | 825 | 965 | 925 | 885 | 845 |
| 60 | N.A | 1010 | 990 | 1330 | 1310 | 1290 | 1610 | 1570 | 1530 | 1490 | 1450 | 1410 | 1370 |

Методика определения пик-фактора сигналов сетей связи ИМТ-2020

Определение пик-фактора структурно сложных радиосигналов, каковыми являются сигналы, предполагаемые к использованию в сетях связи ИМТ-2020, рационально производить не непосредственно на их физических реализациях, а на математических моделях их комплексной огибающей. Данный подход вполне обосновывается тем, что в реальном оборудовании систем связи ИМТ-2020 сигналы формируются программно-аппаратным способом посредством вычисления необходимых комплексных огибающих OFDM символов с последующим переносом на радиочастоту квадратурным модулятором.

В настоящих исследованиях, комплексная огибающая сигналов ИМТ-2020 формировалась в среде MatLab с использованием приложения «Wireless Waveform Generation» (объем генерации 1000 OFDM символов со случайным информационным заполнением для каждого из возможных форматов радиосигнала).

На рис. 1 приведена характерная гистограмма распределения модуля комплексной амплитуды сигнала сети связи 5G.

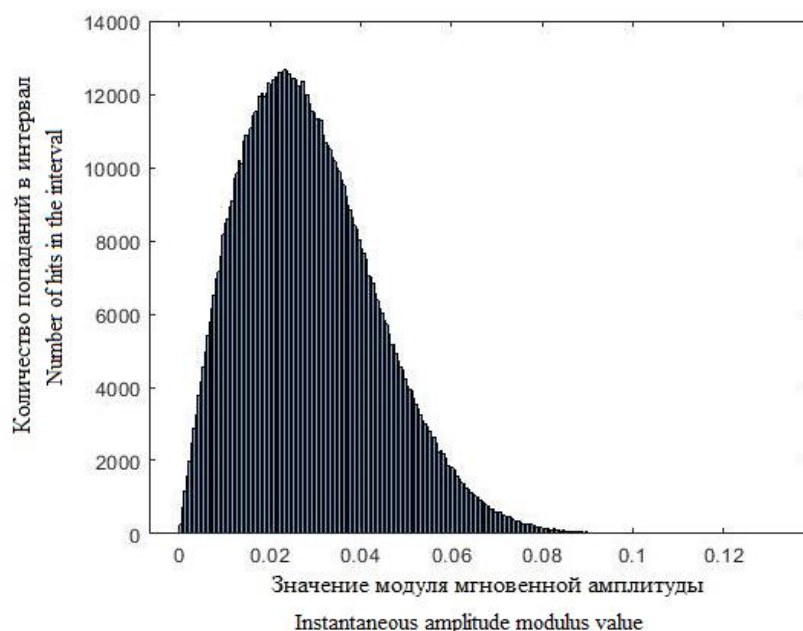


Рис. 1. Типовой вид гистограммы распределения (числа попаданий в заданный интервал значений) модуля мгновенной амплитуды для сигналов системы мобильной связи стандарта 5G

Fig. 1. The typical view of distribution histogram (the number of hits in a given interval of values) of the instantaneous amplitude module for signals of the 5G mobile communication system

Приведенная выше гистограмма соответствует рэлеевскому закону распределения вероятностей, характерному для узкополосного радиощума.

Результаты исследования пик-фактора сигналов сетей связи 5G

Ниже в табл. 3 приведены диапазоны значений пик-фактора Π (отношения максимальной амплитуды к ее среднему значению) и пик-фактора, не превышаемого с заданной вероятностью $K_{0,9}$, $K_{0,95}$ и $K_{0,99}$ (отношения квантилей порядка 0,9; 0,95 и 0,99 распределения вероятностей амплитуды к ее среднему значению), полученные в результате анализа смоделированных временных реализаций комплексной огибающей сигналов различной конфигурации сетей связи 5G.

Таблица 3. Пик-фактор сигналов 5G с различной модуляцией поднесущих
Table 3. Peak-factor of 5G signals with different modulated subcarriers

| Модуляция поднесущих Subcarriers Modulation | Π | $K_{0,9}$ | $K_{0,95}$ | $K_{0,99}$ |
|---|-----------|-----------|------------|------------|
| QPSK | 3,86–5,48 | 1,71–1,74 | 1,93–1,98 | 2,37–2,60 |
| 16-QAM | 3,70–4,79 | 1,63–1,87 | 1,85–1,98 | 2,29–2,69 |
| 64-QAM | 3,75–4,94 | 1,71–1,79 | 1,90–1,99 | 2,31–2,78 |
| 256-QAM | 3,88–4,94 | 1,70–1,73 | 1,90–1,98 | 2,39–2,58 |

Анализ данных показывает, что пик-фактор совокупности сигналов, планируемых для использования в сетях 5G, изменяется в пределах 3,7–5,5 (среднее значение 4,3). Вероятностные пик-факторы в пределах 1,6–1,9 (среднее значение 1,7); 1,8–2,0 (среднее значение 1,9) и 2,3–2,8 (среднее значение 2,5) для вероятностей превышения 0,1; 0,05 и 0,01 соответственно.

Заклучение

В соответствии с вышеизложенным можно сделать следующие выводы:

– одномерное распределение амплитудных значений радиосигналов сетей связи 5G соответствует рэлеевскому закону распределения вероятностей, характерному для узкополосного радишума;

– полученные в результате моделирования значения пик-фактора для различных вариаций сигналов сетей связи 5G не превышают величины 5,5 (14,8 дБ);

– менее 1 % амплитудных значений радиосигнала превышает в 3 раза (9,5 дБ) его среднее значение;

– верхняя граница динамического диапазона элементов тракта формирования и обработки радиосигналов 5G должна учитывать необходимость обеспечения запаса линейного усиления минимум на 9,5 дБ;

– при анализе степени помехового воздействия излучения оборудования сетей связи 5G на приемные тракты сторонних РЭС необходимо учитывать вероятность их блокирования кратковременными пиковыми значениями амплитуды сигнала 5G и вводить необходимый запас допустимого уровня помехового воздействия на 14,8 дБ.

Список литературы / References

1. Ma Z., Zhang Z.Q., Ding Z.G., et al. Key techniques for 5G wireless communications: network architecture, physical layer, and MAC layer perspectives. *Sci China Inf Sci.* 2015;58:041301(20). DOI: 10.1007/s11432-015-5293.
2. Zi Q.C., Niu H.N., Papathanassiou A.T., et al. 5G network capacity : key elements and technologies. *IEEE Veh Technol Mag.* 2014;9:71-78.
3. Yu X.B., Zhou T.T., Rui Y., et al. Cross-layer design for cooperative MIMO systems with relay selection and imperfect CSI. *Sci China Inf Sci.* 2013;56:022312.

Вклад авторов

Козел В.М. разработал постановку задачи и метод генерации сигналов системы связи 5G. Подворная Д.А. смоделировала временные реализации комплексных огибающих сигналов сетей связи 5G и произвела расчеты пик-факторов.

Ковалёв К.А. выполнил анализ полученных результатов.

Authors' contribution

Kozel V.M. developed a statement of the problem and a method for generating signals of a 5G communication system.

Podvornaya D.A. modeled the temporary implementations of the complex envelopes of the signals of 5G communication networks and calculated the peak factors.

Kovalev K.A. performed an analysis of the results.

Сведения об авторах

Подворная Д.А., магистрант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Козел В.М., к.т.н., доцент кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Ковалёв К.А., старший научный сотрудник НИЛ 1.12 НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Podvornaya D.A., Master Student of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Kozel V.M., PhD, Associate Professor of the Information Radiotechnologies Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Kovalev K.A., Senior Researcher, SRL 1.12 R&D Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-29-892-83-54;
e-mail: podvornaya@bsuir.by
Подворная Дана Александровна

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus
Minsk, P. Brovki str., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel. +375-29-892-83-54;
e-mail: podvornaya@bsuir.by
Podvornaya Dana Alexandrovna