

УДК 621.376

УМЕНЬШЕНИЕ PAPR В СИСТЕМАХ FBMC-OQAM НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СКОЛЬЗЯЩЕЙ НОРМЫ

С. ИКНИ, Д. АБЕД, С. РЕДАДА, М. СЕДРАУИ

*Университет Гуэльма, Алжир,
Гельма, ВР 401, 24000*

Аннотация. Работа посвящена преодолению недостатка, связанного с величиной отношения пикового уровня мощности сигнала к среднему PAPR (Peak to Average Power Ratio), возникающего при нескольких несущих в банке фильтров FBMC (Filter-Bank Multi-Carriers) с квадратурной амплитудной модуляцией со сдвигом OQAM (Offset-QAM) в системах FBMC-OQAM, которые являются кандидатом при формировании формы сигнала для беспроводных систем связи пятого поколения. Дискретное преобразование скользящей нормы DSNT (Discrete Sliding Norm Transform) после обратного дискретного преобразования Фурье IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform) предлагается на основе L_2 -метрики и нормы для пяти отсчетов при каждой операции скольжения. В предлагаемом составе L_2 -на-5 DSNT рассматривается использование перекрывающейся структуры FBMC-OQAM. Это существенно уменьшает величину PAPR в системах FBMC-OQAM, что гарантирует линейность характеристики усилителя большой мощности HPA (High Power Amplifier) и позволяет избежать искажения сигнала. Основные достоинства этой методики состоят в уменьшении вычислительной сложности по сравнению с известными методиками и отсутствии необходимости в какой-либо дополнительной информации SI (Side Information) на стороне приемника. Результаты моделирования показали, что методика L_2 -на-5 DSNT позволяет достичь 40% уменьшения величины PAPR при CCDF = 10^{-3} по сравнению с исходной системой FBMC-OQAM.

Ключевые слова: FBMC; банк фильтров с несколькими несущими; OQAM; квадратурная амплитудная модуляция со сдвигом; PAPR; отношение пикового уровня мощности сигнала к среднему; DSNT; дискретное преобразование скользящей нормы; MCM; модуляция на нескольких несущих; система пятого поколения; 5G

1. ВВЕДЕНИЕ

Модуляция на нескольких несущих MCM (multicarrier modulation) широко используется в системах беспроводной связи, где широкополосный сигнал при высокой скорости передачи символов разделяется на несколько сигналов, каждый из которых занимает более узкую полосу при пониженной скорости передачи. Основным достоинством такой модуляции является ее устойчивость к многолучевому распространению и узкополосной помехе.

Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) до настоящего времени является наиболее важным классом MCM. Его вычислительная мощность и устойчивость к возникновению ошибок хорошо зарекомендовали себя в системах беспроводной связи четвертого поколения [1–6]. Однако подход, основанный на OFDM, имеет серьезные ограничения, вследствие прямоугольной формы сигнала. Этот фактор приводит к генерации кардинальной функции синуса в частотной области с боковыми лепестками, близкими к

DOI: [10.20535/S0021347019020018](https://doi.org/10.20535/S0021347019020018)

© С. Икни, Д. Абед, С. Редада, М. Седрауи, 2019

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Siohan, P.; Siclet, C.; Lacaille, N. "Analysis and design of OFDM/OQAM systems based on filterbank theory," *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 50, No. 5, p. 1170-1183, 2002. DOI: [10.1109/78.995073](https://doi.org/10.1109/78.995073).
2. Skrzypczak, A.; Siohan, P.; Chotkan, N.; Djoko-Kouam, M. "OFDM/OQAM: An appropriate modulation scheme for an optimal use of the spectrum," *Proc. of 2008 3rd Int. Symp. on Communications, Control, and Signal Processing, ISCCSP 2008*, 12-14 Mar. 2008, St Julians, Malta. IEEE, 2008. DOI: [10.1109/ISCCSP.2008.4537259](https://doi.org/10.1109/ISCCSP.2008.4537259).
3. Couillet, R.; Debbah, M. "Flexible OFDM schemes for bursty transmissions," *Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conf.*, 5-8 Apr. 2009, Budapest, Hungary. IEEE, 2009. DOI: [10.1109/WCNC.2009.4917727](https://doi.org/10.1109/WCNC.2009.4917727).
4. Farhang-Boroujeny, B. "OFDM versus filter bank multicarrier," *IEEE Signal Process. Mag.*, Vol. 28, No. 3, p. 92-112, 2011. DOI: [10.1109/MSP.2011.940267](https://doi.org/10.1109/MSP.2011.940267).
5. Mattera, D.; Tanda, M.; Bellanger, M. "Filter bank multicarrier with PAM modulation for future wireless systems," *Signal Processing*, Vol. 120, p. 594-606, 2016. DOI: [10.1016/j.sigpro.2015.09.035](https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2015.09.035).
6. Nissel, R.; Rupp, M. "OFDM and FBMC-OQAM in doubly-selective channels: calculating the bit error probability," *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 21, No. 6, p. 1297-1300, 2017. DOI: [10.1109/LCOMM.2017.2677941](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2017.2677941).
7. Zakaria, R.; Le Ruyet, D. "Intrinsic interference reduction in a filter bank-based multicarrier using QAM modulation," *Phys. Commun.*, Vol. 11, p. 15-24, 2014. DOI: [10.1016/j.phycom.2013.10.005](https://doi.org/10.1016/j.phycom.2013.10.005).
8. Bellanger, M. "Physical layer for future broadband radio systems," *Proc. of 2010 IEEE Radio and Wireless Symp.*, RWS, 10-14 Jan. 2010, New Orleans, USA. IEEE, 2010. DOI: [10.1109/RWS.2010.5434093](https://doi.org/10.1109/RWS.2010.5434093).
9. Nam, H.; Choi, M.; Kim, C.; Hong, D.; Choi, S. "A new filter-bank multicarrier system for QAM signal transmission and reception," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Communications, ICC*, 10-14 Jun. 2014, Sydney, Australia. IEEE, 2014, p. 5227-5232. DOI: [10.1109/ICC.2014.6884151](https://doi.org/10.1109/ICC.2014.6884151).
10. Nissel, R.; Schwarz, S.; Rupp, M. "Filter bank multicarrier modulation schemes for future mobile communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Vol. 35, No. 8, p. 1768-1782, 2017. DOI: [10.1109/JSAC.2017.2710022](https://doi.org/10.1109/JSAC.2017.2710022).
11. Lin, H.; Gharba, M.; Siohan, P. "Impact of time and carrier frequency offsets on the FBMC/OQAM modulation scheme," *Signal Process.*, Vol. 102, p. 151-162, 2014. DOI: [10.1016/j.sigpro.2014.03.017](https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2014.03.017).
12. Laabidi, M. "PAPR reduction and HPA non-linear compensation techniques for filter bank-based

multi-carrier modulations systems (FBMC),” *Doctoral thesis in Information Technologies and Communication*, Innov’com Laboratory, Sup’com. Tunisie, 2016.

13. Bulusu, S. S. K. C. “Performance analysis and PAPR reduction techniques for filter-bank based multi-carrier systems with non-linear power amplifiers,” *Doctoral thesis in Radiocommunications*, École doctorale Informatique, Télécommunication et Électronique de Paris, LAETITIA/CEDRIC Laboratory. France, 2016.

14. Viholainen, A.; Bellanger, M.; Huchard, M. “Prototype filter and structure optimization,” Document D5.1 deliverable. Jan. 2009. URI: <http://www.ict-phy.dyas.org>.

15. Bellanger, M.; PHYDYAS team, “FBMC physical layer: a primer,” June 2010. URI: <http://www.ict-phy.dyas.org>.

16. Lu, S.; Qu, D.; He, Y. “Sliding window tone reservation technique for the peak-to-average power ratio reduction of FBMC-OQAM signals,” *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, Vol. 1, No. 4, p. 268, 2012. DOI: [10.1109/WCL.2012.062512.120360](https://doi.org/10.1109/WCL.2012.062512.120360).

17. Shi, N.; Wei, S. “A partial transmit sequences based approach for the reduction of peak-to-average power ratio in FBMC system,” *Proc. of 25th Wireless and Optical Communication Conf.*, 21-23 May 2016, Chengdu, China. IEEE, 2016. DOI: [10.1109/WOCC.2016.7506550](https://doi.org/10.1109/WOCC.2016.7506550).

18. Rahim, M. U.; Stitz, T. H.; Renfors, M. “Analysis of clipping-based PAPR-reduction in multicarrier systems,” *Proc. of IEEE 69th Vehicular Technology Conf.*, 26-29 Apr. 2009, Barcelona, Spain. IEEE, 2009. DOI: [10.1109/VETECS.2009.5073391](https://doi.org/10.1109/VETECS.2009.5073391).

19. Van Der Neut, N.; Maharaj, B. T.; De Lange, F. H.; Gonzalez, G.; Gregorio, F.; Cousseau, J. “PAPR reduction in FBMC systems using a smart gradient-project active constellation extension method,” *Proc. of 21st Int. Conf. on Telecommunications*, 4-7 May 2014, Lisbon, Portugal. IEEE, 2014. DOI: [10.1109/ICT.2014.6845095](https://doi.org/10.1109/ICT.2014.6845095).

20. Bulusu, S. S. K. C.; Shaiek, H.; Roviras, D. “Reduction of PAPR of FBMC-OQAM systems by dispersive tone reservation technique,” *Proc. of Int. Symp. on Wireless Communication Systems*, 25-28 Aug. 2015, Brussels, Belgium. IEEE, 2015. DOI: [10.1109/ISWCS.2015.7454408](https://doi.org/10.1109/ISWCS.2015.7454408).

21. Laabidi, M.; Zayani, R.; Roviras, D.; Bouallegue, R. “PAPR reduction in FBMC/OQAM systems using active constellation extension and tone reservation approaches,” *Proc. of IEEE Symp. on Computers and Communication*, 6-9 Jun. 2015, Larnaca, Cyprus. IEEE, 2016. DOI: [10.1109/ISCC.2015.7405589](https://doi.org/10.1109/ISCC.2015.7405589).

22. Laabidi, M.; Zayani, R.; Bouallegue, R. “A novel multi-block selective mapping scheme for PAPR reduction in FBMC/OQAM systems,” *Proc. of 2015 World Congress on Information Technology and Computer Applications*, WCITCA 2015, 11-13 Jun. 2015, Hammamet, Tunisia. IEEE, 2016. DOI: [10.1109/WCI.TCA.2015.7367014](https://doi.org/10.1109/WCI.TCA.2015.7367014).

23. Laabidi, M.; Zayani, R.; Bouallegue, R. “A new tone reservation scheme for PAPR reduction in FBMC/OQAM systems,” *Proc. of 11th Int. Wireless Communications and Mobile Computing Conf.*, 24-28 Aug. 2015, Dubrovnik, Croatia. IEEE, 2015. DOI: [10.1109/IWCMC.2015.7289196](https://doi.org/10.1109/IWCMC.2015.7289196).

24. Wang, H.; Wang, X.; Xu, L.; Du, W. “Hybrid PAPR reduction scheme for FBMC/OQAM systems based on multi data block PTS and TR methods,” *IEEE Access*, Vol. 4, p. 4761-4768, 2016. DOI: [10.1109/ACCESS.2016.2605008](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2605008).

25. Hanprasitkum, A.; Numsomran, A.; Boonsrimuang, P.; Boonsrimuang, P. “Improved PTS method with new weighting factor technique for FBMC-OQAM systems,” *Proc. of 19th Int. Conf. on Advanced Communication Technology*, 19-22 Feb. 2017, Bongpyeong, South Korea. IEEE, 2017. DOI: [10.23919/ICACT.2017.7890073](https://doi.org/10.23919/ICACT.2017.7890073).

26. Moon, J.-H.; Nam, Y.-R.; Choi, E.-J.; Chen, B.-Y.; Kim, J.-H. “Selected data utilization technique for the PAPR reduction of FBMC-OQAM signals,” *Proc. of Ninth Int. Conf. on Ubiquitous and Future Networks*, ICUFN, 4-7 Jul. 2017, Milan, Italy. IEEE, 2017. DOI: [10.1109/ICUFN.2017.7993889](https://doi.org/10.1109/ICUFN.2017.7993889).

27. Saltzberg, B. R. “Performance of an efficient parallel data transmission system,” *IEEE Trans. Commun. Technol.*, Vol. 15, No. 6, p. 805-811, 1967. DOI: [10.1109/TCOM.1967.1089674](https://doi.org/10.1109/TCOM.1967.1089674).

28. Bellanger, M. G. “Specification and design of prototype filter for filter bank based multicarrier transmission,” *Proc. of IEEE Int. Conf. on Acoustic, Speech and Signal Processing*, 7-11 May 2001, Salt Lake City, USA. IEEE, 2002. DOI: [10.1109/ICASSP.2001.940488](https://doi.org/10.1109/ICASSP.2001.940488).

29. Zakaria, R.; Le Ruyet, D. “A novel filter-bank multicarrier scheme to mitigate the intrinsic interference: Application to MIMO systems,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, Vol. 11, No. 3, p. 1112-1123, 2012. DOI: [10.1109/TWC.2012.012412.110607](https://doi.org/10.1109/TWC.2012.012412.110607).

30. Abed, D.; Medjouri, A. “Discrete sliding norm transform-based 50% PAPR reduction in asymmetrically clipped optical OFDM systems for optical wireless communications,” *Electron. Lett.*, Vol. 51, No. 25, p. 2128-2130, 2015. DOI: [10.1049/el.2015.2813](https://doi.org/10.1049/el.2015.2813).

31. Dursun, S.; Grigoryan, A. M. “Nonlinear L2-by-3 transform for PAPR reduction in OFDM systems,” *Computers and Electrical Engineering*, Vol. 36, p. 1055-1065, 2010. DOI: [10.1016/j.compeleceng.2010.03.008](https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2010.03.008).

32. Saeedi-Sourck, H.; Wu, Y.; Bergmans, J. W. M.; Sadri, S.; Farhang-Boroujeny, B. “Complexity and performance comparison of filter bank multicarrier and OFDM in uplink of multicarrier multiple access networks,” *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 59, No. 4, p. 1907-1912, 2011. DOI: [10.1109/TSP.2010.2104148](https://doi.org/10.1109/TSP.2010.2104148).

33. Eldessoki, S.; Dommel, J.; Hassan, K.; Thiele, L.; Fischer, R. F. H. “Peak-to-average-power reduction for FBMC-based systems,” *Proc. of 20th Int. ITG Workshop*

on *Smart Antennas*, 9-11 Mar. 2016, Munich, Germany.
IEEE, 2016, Vol. 2, No. 1, p. 462-467. URI: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7499164>.

Поступила в редакцию 25.11.2017

После доработки 17.12.2018

Принята к публикации 23.02.2019
