

## ПРИЛОЖЕНИЕ НА НОВИ МОДУЛАЦИОННИ СХЕМИ В 5G МОБИЛНИ МРЕЖИ

**Григор Михайлов, Теодор Илиев, Ивайло Стоянов, Елена Иванова**

*Висше училище по телекомуникации и пощи*

*Русенски университет „Ангел Кънчев“*

## APPLICATION OF NEW MODULATION SCHEMES IN 5G MOBILE NETWORKS

**Grigor Mihaylov, Teodor Iliev, Ivaylo Stoyanov, Elena Ivanova**

*University of Telecommunications and Posts*

*University of Ruse “Angel Kanchev”*

### Abstract

*The modulation schemes used for 5G will have a major impact on performance. Whilst there are requirements to ensure that the data rates needed can be carried and the 5G modulation schemes performance issues including peak to average power ratio, spectral efficiency, and performance in the presence of interference and noise need to be included in any decisions made. The parameters like efficiency in spectrum utilization, complexity and robustness of these waveforms are compared to OFDM which is being used in 4G.*

**Keywords:** Modulation; OFDM; FBMC; GFDM.

### ВЪВЕДЕНИЕ

5G мрежите трябва да поддържат не само огромен брой потребители, но и различни типове потребители, които имат различни изисквания. Традиционният OFDM вече не може да удовлетвори тези изисквания, поради което са необходими нови модулационни техники с много по-ниско излизането извън обхвата. Новите техники за модулация за 5G мрежите понастоящем трябва да обмислят съвместимост с традиционните OFDM системи, но също така трябва да предлагат такива характеристики, за да отговорят на новите предизвикателства.

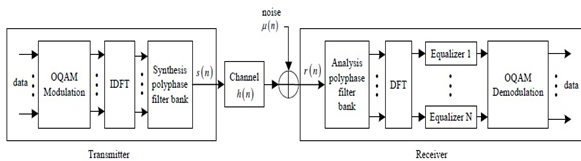
Целта на настоящата статия е да се анализира приложението на нови модулационни схеми в следващото поколение мобилни клетъчни мрежи, предоставящи подобрена производителност и масивна свързаност с подобрена спектрална ефективност.

### МОДУЛАЦИИ ВЪЗ ОСНОВА НА ИМПУЛСНО ОФОРМЯНЕ

Импулсното оформяне, което също се разглежда като филтриране на базата на подносещи, може ефективно да намали отклонението от поддиапазона. Според принципа на Хайзенберг-Габор, времето и честотната ширина на импулсите не могат да бъдат намалени едновременно. Следователно, формите на вълната, базирани на оформяне на импулси, обикновено не са ортогонални както във времеви, така и в честотни домейни. В сравнение с традиционния OFDM, структурата на предавателя, поддържаща импулсна модулация, е по-сложна. Тук се въвеждат две типични модулации, базирани на импулсно оформяне, т.е. Filter Bank Multi Carrier (FBMC) и Generalized Frequency Division Multiplexing (GFDM). [1]

## FBMC

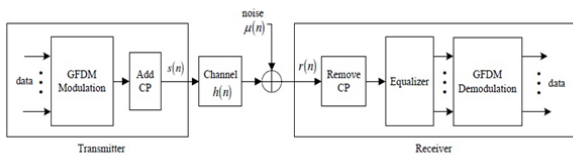
Както е показано на фигура 1, FBMC се състои от IDFT и DFT, синтез и анализ на многофазни филтърни групи. Прототипният филтър в FBMC изпълнява оформянето на импулсите. С правилно проектиран прототипен филтър като IOTA и OQAM структурата, смущенията от близките припокриващи се символи, причинени от съвместимия приемник на филтър (MF), стават чисто въображаеми, което може лесно да бъде отменено. [2]



Фиг. 1. Filter Bank Multi Carrier модулация

## GFDM

Фигура 2 показва блокова диаграма на GFDM. OFDM и мултиплексването с единно носещо честотно деление (SC-FDM) могат да се разглеждат като два специални случая на GFDM. Уникалната характеристика на GFDM е да се използват кръгови изместени филтри, а не линейни филтри, които се използват в FBMC, за да се извърши оформяне на импулси. [3]



Фиг. 2. Generalized Frequency Division Multiplexing

Освен FBMC и GFDM, други модулации, базирани на импулсни оформяния, като импулсни OFDM и QAM-FBMC, също са предложени за 5G мрежи. Обикновено модулациите, базирани на оформяне на импулси, се опитват да ограничат предавателните сигнали в тясна честотна лента и по този начин да смекчат отклонението от основната лента, така че да могат да работят в асинхронни сценарии с тесен защитен обхват. FBMC също така използва OQAM, за да постигне ортогоналност в реално време.

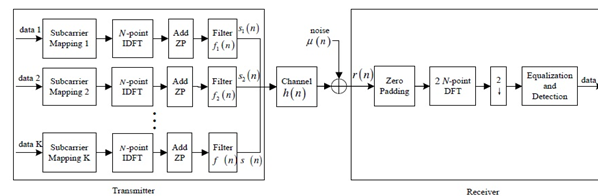
[4] В допълнение, кръговите изместени филтри в GFDM избягват дългата опашка на линейните филтри във времевата област, което прави GFDM годен за случайно предаване. Освен това GFDM е лесно съвместима с технологиите MIMO.

## МОДУЛАЦИИ ВЪЗ ОСНОВА НА ФИЛТРИРАНЕ НА ПОДЛЕНТА

Филтрирането на подлента е друга техника за намаляване на излизането извън обхвата. Universal filtered multicarrier (UFMC) и филтрираният OFDM (f-OFDM) са две типични модулации, базирани на филтриране на подлента.

## UFMC

Фигура 3 показва предавателя и приемните структури на UFMC. В UFMC поддиапазоните са с еднакъв размер и всеки филтър е изместена версия на същия прототипен филтър. OFDM се прилага в подлента за тази модулация, както е показано на фигурата. Тъй като честотната лента на филтъра в UFMC е много по-широка от тази на модулациите въз основа на оформянето на импулсите, дължината във времето е много по-къса. [5]



Фиг. 3. Universal filtered multicarrier

## f-OFDM

f-OFDM има подобна структура на предавателя като UFMC. Основната разлика е, че f-OFDM използва циклически префикс (CP) и обикновено позволява остатъчна интерсимволна интерференция. Следователно, в приемника се прилага децимация. Освен това, понижаването може да се приложи преди операцията DFT, която може значително да намали сложността, тъй като CP може да смекчи повечето от смущенията, причинени от опашката на филтъра; остатъчната интерференция е с много по-ниска мощност и може да се третира като шум. По този начин филтърът в f-OFDM може да бъде по-дълъг от този в UFMC и има по-

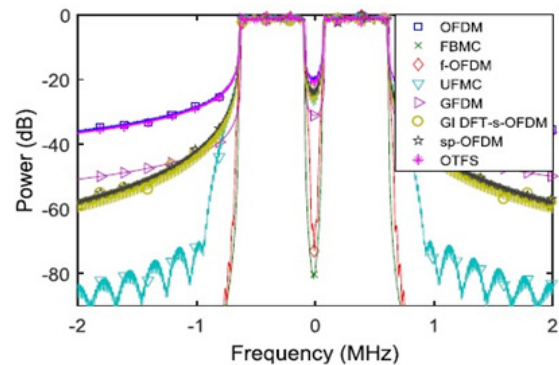
добро отслабване извън лентата. С помощта на ефективно кодиране на каналите намаляването на производителността, причинена от остатъчната интерференция в f-OFDM, може да бъде незначителна. Друга разлика от UFMC е, че разстоянието на подножието и дължината на CP не трябва да бъдат еднакви за различните потребители в f-OFDM. Най-широко използваният филтър в f-OFDM е мекият скъсен филтър, който може лесно да се използва в различни приложения с различни параметри. Освен UFMC и f-OFDM са предложени и други модуляции, базирани на филтриране на поддиапазони. [6] Като пример може да се даде ресурсният блок f-OFDM (RB-f-OFDM) използващ филтри, базирани на ресурсен блок вместо цялата лента от потребители в f-OFDM. По принцип модуляциите, базирани на филтрирането на подлента, могат ефективно да намалят изтичането на ООВ и да постигнат по-добри резултати в сравнение с традиционните OFDM.

### СРАВНЕНИЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА РАЗЛИЧНИТЕ МОДУЛАЦИИ

Сравнява се спектралната плътност на мощността (Power Spectral density-PSD) и честотата на битовите грешки (Bit-error rate-BER) на различни модуляции, при които широчината на честотната лента е 15,36 MHz, размерът на DFT е 1024, като всеки от двамата потребители заема 36 подносители, а защитната лента съдържа 12 подносители.

#### PSD

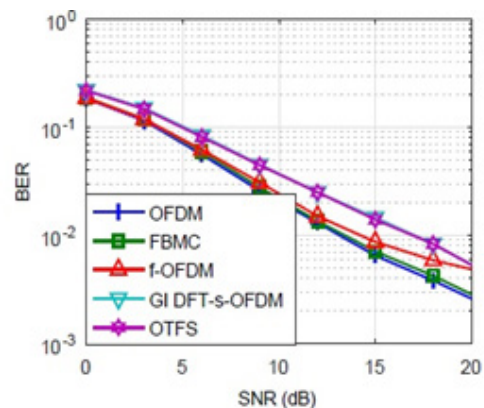
Потискането на излизането от подлентите е ключова цел за повечето предлагани методи на модулация за 5G мрежи. PSD на някои модуляции са показани на фигура 4. От фигурата всички модуляции постигат много по-малко отклонения в сравнение с традиционните OFDM. Сред тях UFMC прилага филтриране на поддиапазони и също така има ниски отклонения, а FBMC и f-OFDM имат най-малко отклонение. GFDM, GI DFT-s-OFDM и SP-OFDM, въпреки че не намаляват отклонението, както FBMC и f-OFDM, все пак могат да постигнат много по-добри резултати от традиционния OFDM. [7]



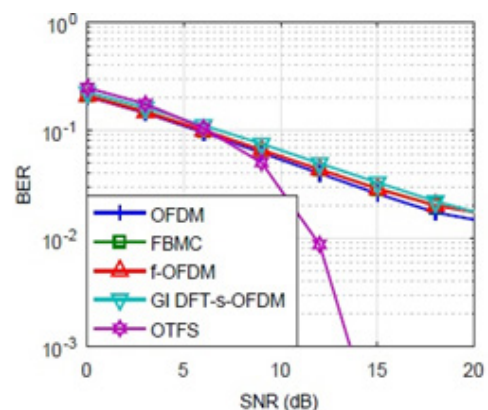
Фиг. 4. Спектралната плътност на мощността

#### BER

За да се намали излизането от подлентите, много модуляции използват техники, като оформяне на импулси и филтриране на субдиапазони, което може да въведе ISI и ICI.



(a)  $f_d = 0$  Hz



(b)  $f_d = 300$  Hz

Фиг. 5. Вероятност за поява на битова грешка

Фигура 5 показва ефективността на BER спрямо съотношението сигнал/шум (SNR), при  $f_d = 0$  и  $f_d = 300$  Hz. От фигура 5(a), традиционният OFDM има най-добро представяне, когато Доплеровото разпространение

е нула ( $f_d = 0$ ), тъй като ISI, причинени от многопътното разпространение на сигнала, е напълно отстранено. Тъй като честотната лента на всяка подносеца е достатъчно малка, за да направи съответния канал приблизително плосък, ISI, въведен чрез оформяне на пулса в FBMC, е почти въображаем. Следователно, FBMC е приблизително ортогонална в реалния домейн и постига добра BER производителност. Ефективността на UFMC, GFDM и SP-OFDM е подобна на тази на FBMC, която леко се влошава поради засилването на шума и ниското прожектиране. Обаче, f-OFDM въвежда допълнителен ISI, който не може да бъде напълно отменен, и в резултат има малко по-лоши резултати, особено в областта на високия SNR. [8] Тъй като е трудно да се оцени и проследи бързо канала за бързо затихване, ефективността на повечето модулационни схеми се разгражда значително, както е показано на фиг. 5(b). Въпреки че OTFS все още може да постигне добри резултати поради специфичния си метод за оценка на канали. Освен това представянето в сценария за висока мобилност е дори по-добро от това в сценария на нулевия Доплеров ефект.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пътят до 5G може да изглежда като подобрение и мащабиране на настоящите 4G технологии с добавянето на няколко нови компонента, но комбинацията от значими подобрения в ключови области заедно с няколко нови компонента може да повиши цялостния опит на потребителите до ново ниво, която наистина е достойна за обозначаването на 5G.

Представени са нови модуляции за ортогонално разпространение на сигналите, които намаляват излизането от подобхватата. Бъдещите насоки на колектива ще се фокусират върху не-ортогоналното разпространение на сигнали, което е един обещаващ подход. Чрез използването на неортогоналност 5G мрежите ще могат да осигурят подобрена производителност и масивна свързаност с подобрена спектрална ефективност.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящият материал е изготвен с финансовата помощ на проект №НИД-13/03.04.2018 “Изграждане на инфраструктура за учебна и научноизследователска работа във ВУТП чрез създаване на лаборатория по Системи за видеонаблюдение” от Висше училище по телекомуникации и пощи, София.

## REFERENCE

- [1] Fundamentals of 5G Mobile Networks /Edited by Jonathan Rodriguez/
- [2] Network Densification: The Dominant Theme for Wireless Evolution into 5G /Naga Bhushan, Junyi Li, Durga Malladi, Rob Gilmore, Dean Brenner, Aleksandar Damnjanovic, Ravi Teja Sukhvasi, Chirag Patel, and Stefan Geirhofer, Qualcomm Technologies, Incorporated/
- [3] Marko Höyhtyä, Olli Apilo and Mika Lasanen „Modulation and Multiple Access for 5G Networks“ - Yunlong Cai, Zhijin Qin, Fangyu Cui, Geoffrey Ye Li, and Julie A. McCann
- [4] Sadinov S., Simulation Study of M-ARY QAM Modulation Techniques using Matlab/Simulink, 40th jubilee international convention on information and communication technology, electronics and microelectronics – MIPRO 2017 CTI, May 22 - 26, 2017, Opatija, Croatia, pp.704-711;
- [5] Coordinated control and spectrum management for 5G heterogeneous radio access networks (COHERENT), EU H2020 5G-PPP project, website <http://www.ict-coherent.eu/>.
- [6] COHERENT: Coordinated Control and Spectrum Management for 5G Heterogeneous Radio Access Network, Deliverable 2.2 “System Architecture and Abstractions for Mobile Networks”, (2016)
- [7] B. Han, P. Hui, V. Kumar, M. V. Marathe, G. Pei, A. Srinivasan „Cellular Traffic Offloading through Opportunistic Communications”: A Case Study, ACM CHANTS, (2010)L. Ardito, G. Procaccianti, G. Menga and M. Morisio, “Smart Grid Technologies in Europe: An Overview”, Energies 2013, 6, 251-281; doi:10.3390/en6010251, available online

at <http://www.mdpi.com/journal/energies>.  
[8] P. D. Diamantoulakis, K. N. Pappi, Z. Ding, and G. K. Karagiannidis, „Wireless powered communications with non-

orthogonal multiple access,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 15, no. 12, pp. 8422-8436, Dec. 2016