

**ПРИЛАГАНЕ НА 5G FBMC PHYDYAS ПРОТОТИП НА ФИЛТЪР****Траян Иванов<sup>1</sup>, Станимир Садинов<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Технически Университет Габрово, България**IMPLEMENTATION OF 5G FBMC PHYDYAS PROTOTYPE FILTER****Trayan Ivanov<sup>1</sup>, Stanimir Sadinov<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Technical University of Gabrovo, Bulgaria**Abstract**

There are a lot of problems in the 4G (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) system, and the most prominent of those problems is using a big number of cyclic prefixes (CPs) at the header of each symbol in each sub-carrier, which used to reduce the multipath effects, that increasing the symbols length therefore not exploiting the channel capacity and increasing the latency. In this paper, we introduced a description of the next 5G (Filter Bank Multi-Carrier- FBMC) system that reducing the problems in the 4G (OFDM) system, and that is through using the banks of filter instead of using the CPs. In this work, we implemented the response of prototype filter called (PHYSical layer for DYnamic spectrum AccesS and cognitive radio – PHYDYAS) that used in 5G (FBMC) using the MATLAB.

**Keywords:** 4G, OFDM, 5G, FBMC, PHYDYAS.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Появата на първите мобилни комуникации през 1980 г., чрез мобилният аналогов стандарт наречен първо поколение - 1G, който въведе услугите за гласово повикване през мобилни клетъчни мрежи промени живота на хората и света като цяло [1].

По-късно през 1990 г. се представи и второто поколение 2G по изцяло цифров стандарт на обработка и транслиране на сигналите наречен GSM, които се явява изцяло цифрова телекомуникационна мрежа за гласово повикване [1]. След това стандартите динамично се развиха и надградиха в 2.5G, наречен GPRS, който се използва за предаване на информационни пакети и за комутация на домейни [2]. Следва стандарта 2.75G, наречен EDGE, въведен през 1999 г. в САЩ, като системата използва 8PSK кодиране, с цел подобряване на скоростта на трансфер на данни [2].

Услугите за скорост от 1Mbps за мобилна телевизия, видео разговори и други услуги са въведоха в 3G системата [1]. Първата 3G мобилната технология е изградена през 2000г. от IMT-2000.

Новият стандарт 4G, които е актуален и до днес е представен през 2010г., използва усъвършенстваната IMT технология [1].

Технологията по стандарт 5G, която се очаква да бъде въведена през 2020 г., ще осигури по-голяма скорост на данни, за да бъде съвместима с бъдещия стандарт «интернет на нещата» (IoT) [3]. 5G системата ще използва синхронно много технологии за постигане на основните потребителски изисквания [4]. Сравнителен анализ на възможностите на изброените стандарти е представен в Таблица 1.

**ИЗЛОЖЕНИЕ****Описание на възможностите пето поколение (5G) мобилни клетъчни мрежи**

Това ще бъде основна технология в света, защото ще осигури по-висока скорост на данни на потребителите в съвременната епоха. Сегашните технологии не могат да постигнат бъдещите изисквания IoT услуги [5, 6].

Настъпващата 5G технология ще свърже милиарди устройства помежду си и ще

поддържа повече от 9 милиарда комуникационни връзки и тези абонати ще могат да споделят своите данни по всяко време и навсякъде [1].

Системата 5G ще изисква много надстройки за устройствата и оборудване в сравнение с настоящото и миналото поколение [1]. А основните 5G системни изисквания са [7]:

- 10 пъти по голям живот на батерията;
- 10–100 пъти повече скорост на предаване на данни;
- 5 пъти по-ниско забавяне (или латентност);
- 10 - 100 пъти по-висока способност на устройства да се свързват;
- 1000 пъти по-голям обем на мобилни данни.

5G ще поддържа по-високи скорости с качество (QoE) и свързване на голям брой устройства заедно [8].

В планираните стандарти на 5G системата, ще се акцентира върху милиметровата дължина на вълна (mm-Wave) за постигане на масов по-висок капацитет, който осигуряват честотна лента 10 пъти повече от 4G честотната лента. 5G ще поддържа MIMO технология за реализиране на покриване малката клетка, която изпитва малка вътрешна интерференция между потребител и клетка и следователно получават по-висока производителност. FBMC (Filter Bank Multi-Carrier- FBMC) е способ използващ много нови техники за множествен достъп, които ще се прилагат в 5G [8].

Реално се въвеждат техники за адаптивна модулация, като OQAM за постигане на гигабитови скорости. Multi-RAT ще помогне за увеличаване на честотната лента. Нови топологии и устройство към устройство (D2D) технологията ще участват в намаляване на латентността на мрежата [1].

### Сравнително описание на OFDM (4G) и FBMC (5G)

За да се намалят многоцелевите ефекти, се използва модулацията на подносещите (MCM), която разделя пълната честотна лента на малки групи.

В настоящите 4G техники MCM е представена от OFDM технологията. OFDM има доказана добра синхронизация поради из-

ползването на правоъгълната импулсна форма, наречена ICI, също така OFDM може да се реализира практически на базата на FFT. Затова и OFDMA е актуална техника за множествен достъп, използвана в 4G LTE системите [9].

Поради по-голямата интензивност на грешки при синхронизация и Доплеров ефект, MCM техниката може да използва филтриращи банки с OQAM „мапиране“ за подобряване на спектралната ефективност и капацитет на канала [10] и тази техника се именно се нарича Filter Bank Multi Carrier (FBMC), която ще се използва в следващия 5G стандарт. Основният блок приемо-предавателна диаграма OFDM и FBMC е показана на фиг.1.

#### А. OFDM

Както се вижда на фиг. 1.а, потокът с висока скорост на предаване на данни се разделя в поток с по-ниска скорост от етапа на кодиране, тогава се преобразува в сложна форма на QAM ((I) от етапа на „мапиране“ и (Q) на  $c_n(m)$ ).

Сложните данни се преобразуват от серийни в паралелни от S/P етапа, след което се прилага M обратна FFT (IFFT) дължина при IFFT етапа, за да се направи ортогонален случай между подносещите и неизползваните подносещи се запълват с нули. Времето за дискретизация на полето на OFDM модулацията на базовата лента е [9]:

$$s(k) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \prod (k - nM) \sum_{m=0}^{M-1} c_n(m) e^{\frac{j2\pi mk}{M}}, \quad (1)$$

където M е подносещата,  $c_n(m)$  е QAM информацията и  $\prod$  е функция от [9]:

$$\prod = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq k \leq M-1, \\ 0 & \text{elsewhere.} \end{cases} \quad (2)$$

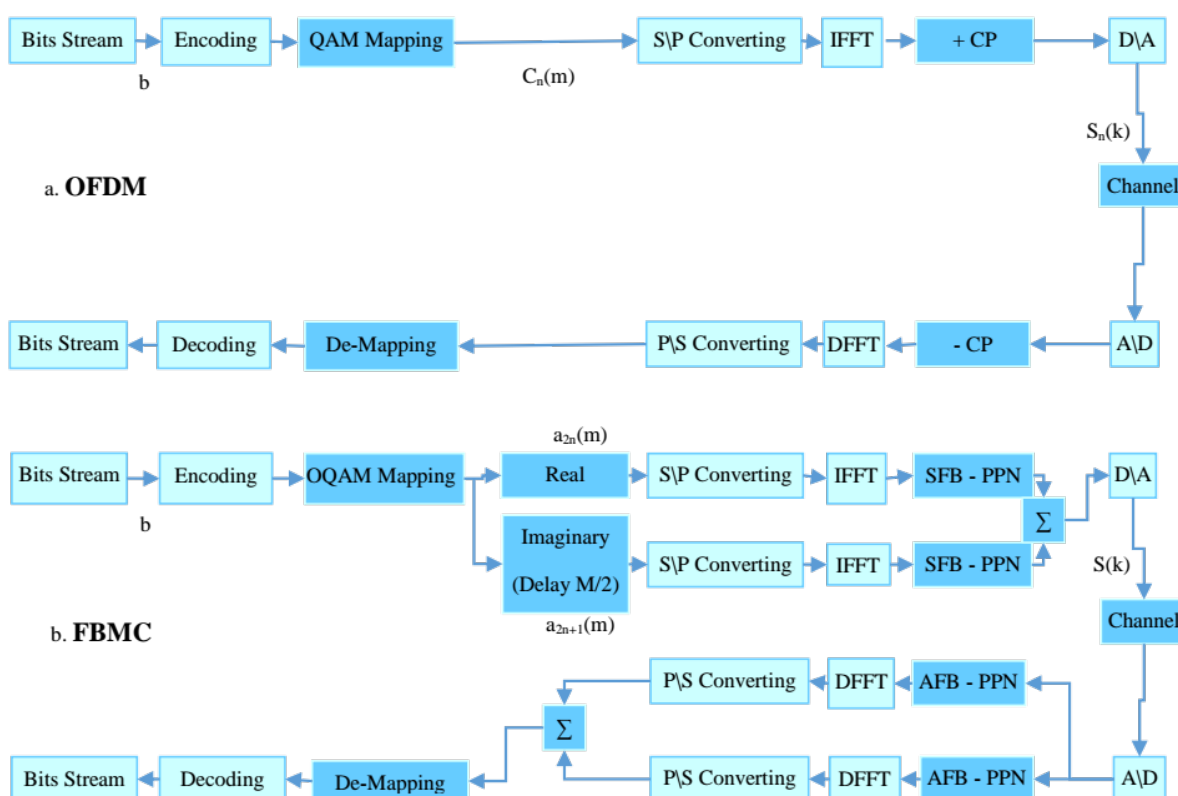
В честотната област функцията Sinc се представя за всяка носеща и изразяването ѝ става посредством [9]:

$$s_n(k) = \sum_{m=0}^{M-1} c_n(m) e^{\frac{j2\pi mk}{M}}, \quad (3)$$

За да се избегне разпространението на ефектите на забавяне в многоцелевите канали, CP се използва в заглавката на символа при OFDM за намаляване на ISI, но тези CP причиняват запълване на честотната лента на канала и спектралната ефективност.

Таблица 1. Базисно описание на основните генерации

Main Features	Launch	Main Standard	System	Main Technology	Data Rate (bps)	Main Service	
0G	1946	MTS	Analog	FM-SSB	-	Wireless Communicate	
0.5G	1970	ARP	Analog	FM-SSB	-	Remote Communicate	
1G	1980	AMPS	Analog	FDMA	-	Mobile Communicate	
2 <sup>nd</sup> G	2G	1990	GSM	Digital	TDMA	9.6 K	International Communicate
	2.5G	1993	CDMA One	Digital	CDMA	9.6 K	Coded Communicate
	2.75G	1997	GPRS	Digital	FDMA/TDMA	35 to 171 k	SMS
	3G	1999	EDGE	Digital	FDMA/TDMA	120 to 384 K	MMS
3 <sup>rd</sup> G	3G	2000	UMTS	Digital	WCDMA	384 K to 1 M	Multimedia
	3.5G	2007	HSDPA	Digital	WCDMA	1 to 2 M	Internet
	3.75G	2009	HSUPA	Digital	WCDMA	2 to 3 M	High Data
4G	2010	WiMAX	Digital	OFDM	3 to 10 M	Higher Data / Speed	
	2013	LTE	Digital	OFDM	20 to 100 M	Internet Higher Data / Speed	
5G	2020	WWW	Digital	FBMC (Candidate)	1 to 100 G	Internet of Things (IoT)	



Фиг. 1. Базова блок диаграма на OFDM и FBMC приемно-предавателни устройства

### В. FBMC

Както е показано на фиг. 1.b, FBMC модулацията се различава от OFDM в три етапа. Първо, той намалява ICI и ISI чрез използване на OQAM мапер с подходящ филтър. Тук OQAM въвежда компенсиране на времевата област от  $M/2$  пробии от  $c_{n(m)}$  компоненти, които са  $I(a^{2n}(m))$  и  $Q(a^{2n+1}(m))$  [9].

Второ, тя използва многофазна мрежа (PPN) като филтър за обработка след етапа на IFFT. Тази филтърна обработка въвежда добра локализация във времето (намалява

ISI) и честотата (намалява ICI) [9]. За оптимална локализация както по време, така и по честота, се използва филтърът на прототипа PHYDYAS [13], също така повишен косинус филтър може да се използва за същата цел, чрез Roll-off фактор, но теоретично той трябва да има много голяма дължина на филтъра [13]. В този труд предпочитаме PHYDYAS заради по-добрата му локализация и по-просто изравняване на предавателя и приемника.

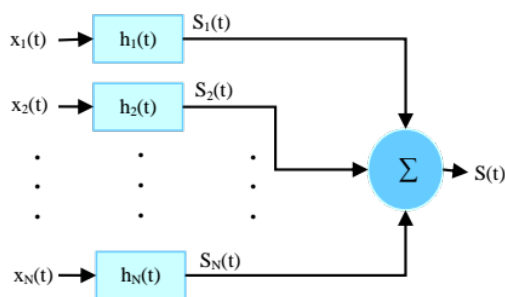
Трето, комбинацията от PHYDYAS филтриране и процесите на модулация OQAM

въвеждат ортогоналност, без използването на CP и така се подобри спектралната ефективност и капацитет на канала [9]. Дискретната времева област на базовата лента FBMC/OQAM е [9]:

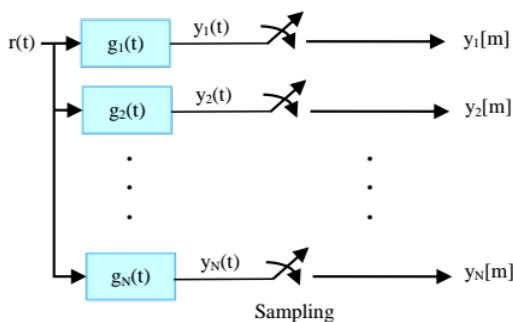
$$s(k) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} p(k - n\frac{M}{2}) \sum_{m=0}^{M-1} a_n(m) j^{n+m} e^{j\frac{2\pi}{M}(k - \frac{L-1}{2})}, \quad (4)$$

където  $e^{-j\frac{2\pi}{M}m\frac{L-1}{2}}$  е фазова компонента.

Съвкупното филтриране е синтезиране и анализиране на многоносещите сигнали. В представения труд е избран моделът PPN-FBMC, където се представя ниска сложност на предавателя и приемника. Фиг. 2, показва опростен PPN приемо-предавател.



Фиг. 2а. Синтез на PPN съвкупен филтър в предавателя (SFB)



Фиг. 2б. Синтез на PPN съвкупен филтър в приемника (AFB)

В този труд се използва PPN PHYDYAS филтърът с коефициент на припокриване ( $K = 2, 3, 4$ ). Таблица 2 показва коефициентите на PHYDYAS[13].

Таблица 2 Коефициенти на Phydays в честотната област

K	$P_{\pm K}$	$P_{\pm 0}$	$P_{\pm 1}$	$P_{\pm 3}$	$P_{\pm 3}$
2	1			-	-
3	1	0,911438	0,411438		-
4	1	0,971960			0,235147

Те се изразяват от уравнението:

$$\frac{1}{k} \sum_{k=-K+1}^{K-1} |P_k|^2 = 1, \quad (5)$$

където  $P_k$  е коефициент на импулсен отговор,  $K$  е припокриващ филтър,  $k$  е индекс на подносещата.

Честотната характеристика на  $M$  подносещите се изразява от уравнението:

$$P(f) = \sum_{k=-K+1}^{K-1} P_k \frac{\sin\left(\pi\left(f - \frac{k}{MK}\right)MK\right)}{MK \sin\left(\pi\left(f - \frac{k}{MK}\right)\right)}, \quad (6)$$

Импулсният отговор на прототипния филтър след IFFT обработката е:

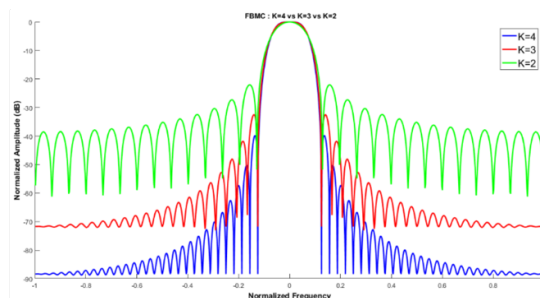
$$p[L] = 1 + 2 \sum_{k=1}^{K-1} (-1)^k P_k \cos\left(\frac{2\pi k}{MK} L\right), \quad (7)$$

$p[0]=0$ ; Използва се за избор на нечетни коефициенти, където  $L$  е дължината на прототипния филтъра  $((M \times K) - 1)$ . За да се получи пълния капацитет на канала, OQAM осъществява ортогоналност между подканалите.

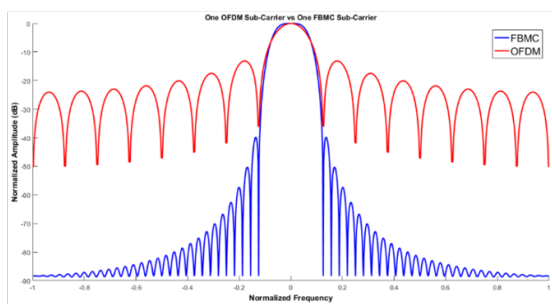
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представената статия се реализира реакцията на прототипния филтър наречен PHYDYAS, използван в системата FBMC (5G), чрез използване на софтуер MATLAB.

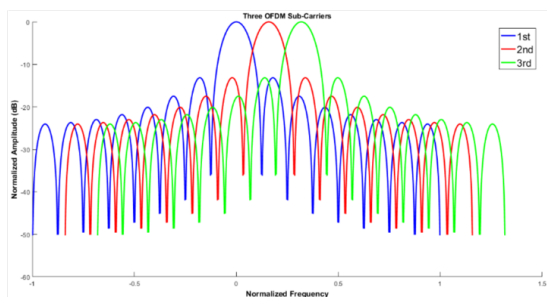
Разгледани са три различни дължини на филтъра за прототип  $((M \times K) - 1)$  на припокриващи се фактори ( $K$ ) 2, 3, & 4; и 16 подносещи ( $M$ ). Като на фиг. 3, е представена реакцията на PHYDYAS филтъра с различни дължини ( $K = 2, 3$  и 4) на една подносеща. Фиг. 4, показва сравнение на една FBMC & OFDM подносеща. На фиг. 5, и съответно на фиг. 6 са представени три подносещи на OFDM и на FBMC технологии.



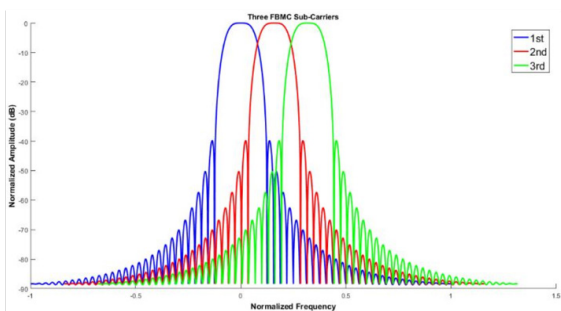
Фиг. 3. Реакция на PHYDYAS филтър с различни дължини



Фиг. 4. Една FBMC подносеца и една OFDM подносеца



Фиг. 5. Три OFDM подносеци



Фиг. 6. Три FBMC подносеци

Целта на 5G (FBMC) системата е да намали проблемите на 4G (OFDM) технологията и това е възможно, чрез използването на съвкупен филтър (Filter Bank) за всеки символ, вместо да се използва СР за всеки символ във всяка подносеца. По този начин, с премахването на СР, намаляваме високите странични нива, които причиняват високи ISI, ICI, ООВ, PAPR; и намаляване дължината на символите и следователно получаване на високи експлоатационни нива на канала.

Анализирайки резултатите се вижда, че дължината на прототипния филтъра РНУДΥΑΣ ( $L=(MK)-1$ ) на припокриващите се фактори ( $K=4$ ) се представя най-добре спектралната ефективност.

## ACKNOWLEDGEMENT

The presented work is supported under project 1910E “Development and Research of Innovative Information-Based Modules and Systems for Communications in Internet of Things (IoT)” by the University Center for Research and Technology at the Technical University of Gabrovo.

## REFERENCE

- [1] F. Hu, Opportunities in 5G Networks: A Research and Development Perspective: CRC Press, 2016.
- [2] S. Lasek, D. Tomeczko, J. T. Penttinen, D. Valerdi, and I. Güemes, "GSM refarming analysis based on Orthogonal Sub Channel and interference optimization," in Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP), 2012 8th International Symposium on, 2012, pp. 1-6.
- [3] Nokia Siemens Networks "2020: Beyond 4G Radio Evolution for the Gigabit Experience " Aug. 2011.
- [4] B. S. Rawat, A. Bhat, and J. Pištora, "THz band nanoantennas for future mobile communication," in Signal Processing and Communication (ICSC), International Conference 2013, pp. 48-52.
- [5] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. Soong, et al., "What will 5G be?," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 32, pp. 1065-1082, 2014.
- [6] P. Pirinen, "A brief overview of 5G research activities," in 5G for Ubiquitous Connectivity (5GU), 2014 1st International Conference on, 2014, pp. 17-22.
- [7] P. Popovski, V. Braun, H. Mayer, P. Fertl, Z. Ren, D. Gonzales-Serrano, et al., "Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless systems," The METIS project: Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society, Tech. Rep. ICT-317669-METIS D, vol. 1, 2013.
- [8] DMC R&D Center, Samsung electronics “5G Vision,” White Paper (Online), Feb. 2015.
- [9] J. Nadal, C. A. Nour, A. Baghdadi, and H. Lin, "Hardware prototyping of FBMC/OQAM baseband for 5G mobile communication," 2014 25th IEEE International Symposium on Rapid System Prototyping (RSP), 2014, pp.72-77.
- [10] M. Gharba, R. Legouable, and P. Siohan, "An alternative multiple access scheme for the uplink 3GPP/LTE based on OFDM/OQAM," in Wireless Communication Systems (ISWCS), 2010 7th International Symposium on, 2010, pp. 941-945.

- [11] A. Jasim, "A Novel MIMO-OFDM Technique for Improving Wireless Communications System Performance based on SF--BC," International Journal of Computer Applications, vol. 131, pp. 28-31, 2015.
- [12] D. Dhawan and N. Gupta, "Performance Analysis of Post Compensated Long Haul High Speed Coherent Optical OFDM System," International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 7, no. 1, pp. 160-168, 2017.
- [13] M. Bellanger, D. Le Ruyet, D. Roviras, M. Terré, J. Nossek, L. Baltar, et al., "FBMC physical layer: a primer," PHYDYAS, January, 2010.
- [14] A. Sahin, I. Guvenc, and H. Arslan, "A survey on multicarrier communications: Prototype filters, lattice structures, and implementation aspects," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, pp. 1312-1338, 2014.