

Моделиране на система с ортогонално честотно разделяне на каналите, чрез средствата на MATLAB

Михаил Илиев, Виктор Хадживасилев

Modeling an Orthogonal Frequency Division Multiplexing /OFDM/ system, by means of MATLAB: The paper reviews the essence of Orthogonal Frequency Division Multiplexing /OFDM/ systems in mobile wireless access networks. Simulation results are obtained to evaluate the error at the receiver, by changing the basic parameters of the system. Conclusions are made about appropriate choice of the individual parameters in downlink channel.

Key words: Wireless mobile networks, LTE, OFDM, OFDMA, SC-FDMA.

ВЪВЕДЕНИЕ

Технологиите за множествен достъп в съвременните широколентови безжични комуникационни системи са базирани на принципа на ортогонално честотно разделяне на каналите /Orthogonal Frequency Division Multiplexing – **OFDM**/ [1,2,3,4]

Във връзка с това моделирането на една **OFDM** система и анализирането на получената грешка при промяна на основните параметри в системата, представлява значима и актуална задача.

Цел на настоящата работа е чрез симулационни изследвания да се предложат идеи за избор на основните параметри на **OFDM** осигуряващи по-добро качество на връзката.

СЪЩНОСТ НА OFDM И ОЦЕНКА НА ОСНОВНИТЕ ѝ ПАРАМЕТРИ

На фиг. 1 и фиг. 3 са показана типични блокови схеми на предаването и приемането в системата за пренос на данни с **OFDM** [4, 5,6,7]

В предавателя сигналът, който ще се предава е дефиниран в честотната област. Последователно-паралелния конвертор (**S/P**) натрупва серийните символни данни в блока данни с размерност **M** имаш вида (1).

$$Sk = [Sk[0], Sk[1], \dots, Sk[M - 1]]^T \quad (1)$$

Където **k** е индексът на **OFDM** символа.

M размерните потоци от данни първо се модулират самостоятелно. Резултатът от модулацията е комплексен вектор от вида (2).

$$Xk = [Xk[0], Xk[1], \dots, Xk[M - 1]]^T \quad (2)$$

Теоретично, за всяка подносеща е възможно използването на различни модулации /**QPSK** или **16QAM**/. Ефикасността на канала може да варира, поради честотната селективност и затова някои подносещи могат да предадат повече информация от други. Символният вектор **Xk** преминава през блок за бързо обратно преобразуване на Фурие **IFFT**, след което се получават множество от **N** времеви модели от вида (3).

$$xk=[xk[0], \dots, xk[N - 1]]^T \quad (3)$$

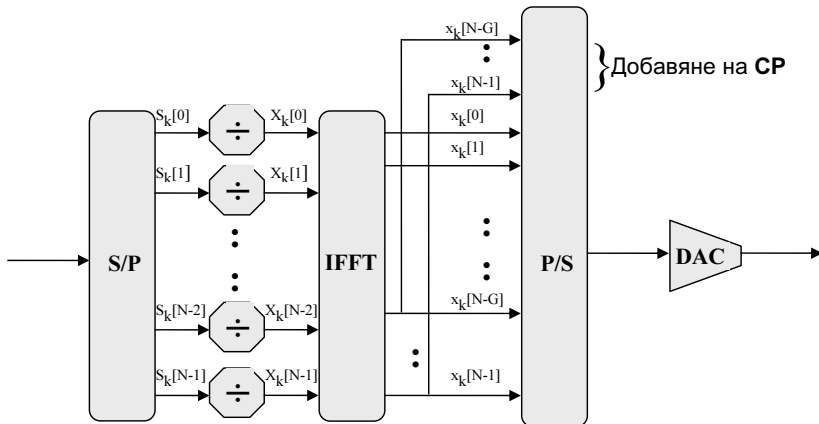
На практика при **OFDM** системите ($N \geq M$).

Следваща ключова операция при **OFDM** е добавянето на защитен интервал в началото на всеки **OFDM** символ. Тя има за цел да отстрани остатъчното влияние от междусимволната интерференция **ISI**, причинена от многопътното разпространение

на сигнала. Защитният интервал, се получава чрез добавяне на циклически префикс **CP** /Cyclic Prefix/ в началото на символа **X_k**. **CP** се получава чрез копиране на последните **G** данни от изхода на **IFFT** и прибавянето им в началото на **x_k**. (4), което води до увеличаване на продължителността на **OFDM** символа.

$$[x_k[N - G], \dots, x_k[N - 1], x_k[0], \dots, x_k[N - 1]]^T \quad (4)$$

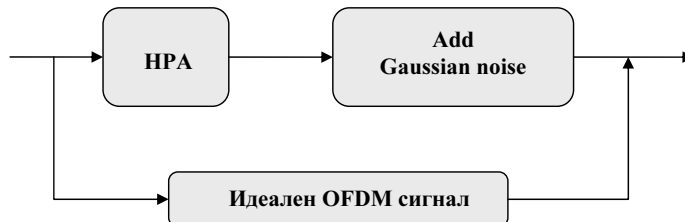
За пълното отстраняване на **ISI** дължината на **G** трябва да се избере така, че да бъде по-продължителна от най-продължителният импулс за отговор на канала. **CP** преобразува линейната /апериодична/ конволюция на канала в циклическа /периодична/, което е подходящо при **DFT** преобразуване.



Фиг. 1. Модел на предаване в система с OFDM.

След **IFFT** блока, следва преобразуване на паралелните данни в последователни, чрез (**P/S**) /паралелно-последователно преобразуване/, за предаване през честотно селективен канал.

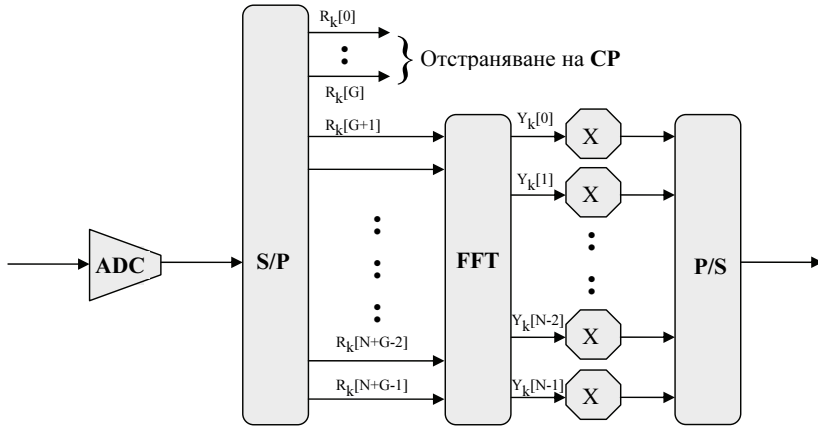
Разработеният математически модел на **OFDM** системата, позволява да бъде сравнен идеалния сигнал с реално моделираният сигнал, преминал през **HPA** усилвател /със зададен коефициент на нелинейност/ и добавен бял гаусов шум към него - фиг. 2. В резултат на това може да бъде оценена грешката при приемане.



Фиг. 2. Модел на усилване и излъчване на сигнала.

В приемника, показан на фиг.3 [4,5,6,7], се извършват обратните операции за демодулиране на **OFDM** сигнала. Считаеки, че е постигната времева и честотна синхронизация между предавателя и приемника първо се преобразува сигнала от

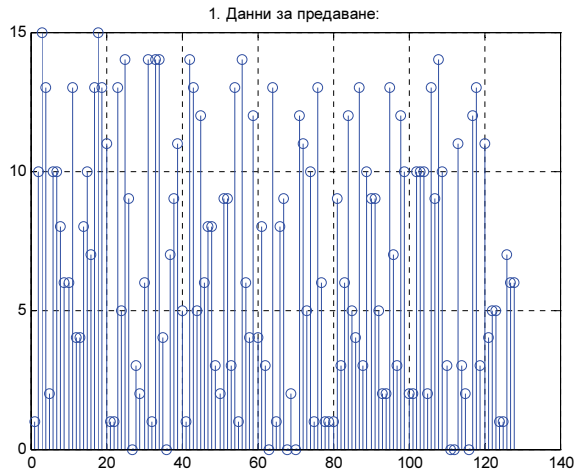
аналогов в цифров. Отстраняват се данните съответстващи на продължителността на **CP**. Блоковете данни, без влияние на междусимволната интерференция, се обработва чрез **DFT**. Ако броят на подносещите **N** е степен на 2, се постига високо ефективно изпълнение на бързото преобразуване на Фурие **/FFT/**, чрез което се преобразува сигнала в честотната област. Измежду **N** паралелни изходящи потоци от блока **FFT**, избрано подмножество от **M** подносещи се селектира за по-нататъшна обработка от приемника.



Фиг. 3. Модел на приемане в система с OFDM.

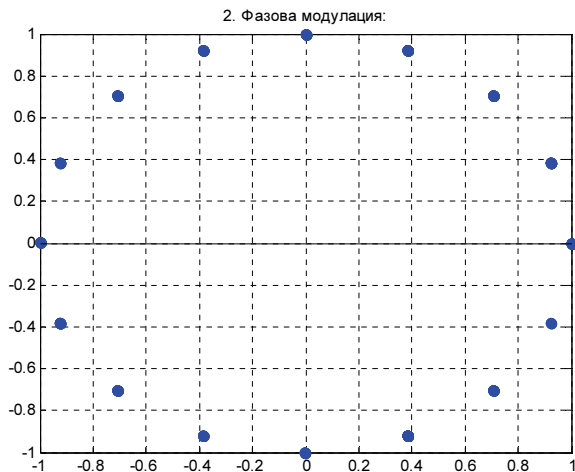
МЕТОДИКА НА МОДЕЛИРАНЕТО И АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Първата стъпка при симулирането на един **OFDM** сигнал е генерирането на **N** броя случайни числа в интервала **[0..m]**, където **N** е броя на избраните подносещи, които в така разработения модел, съгласно блоковата схема, показана на фиг.1 могат да бъдат съответно: **16, 32, 64** и **128** и показана на фиг. 4.



Фиг. 4. Генериране N на брой случайни числа.

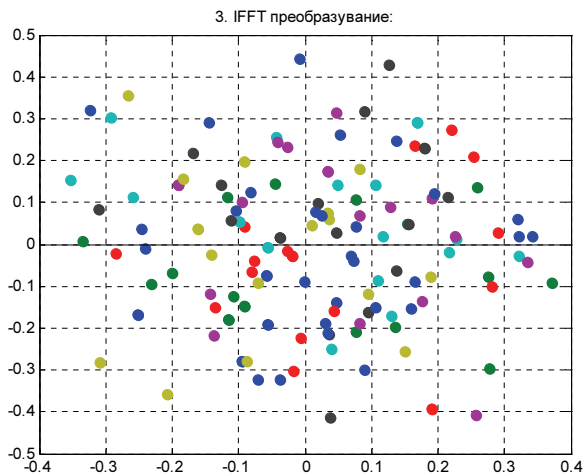
Втората стъпка е избора на вида модулация – m -кратна фазова манипулация /PSK/ или m -кратна квадратурно амплитудна модулация /QAM/ - фиг.5.



Фиг. 5. Извършване на m -кратна фазова модулация.

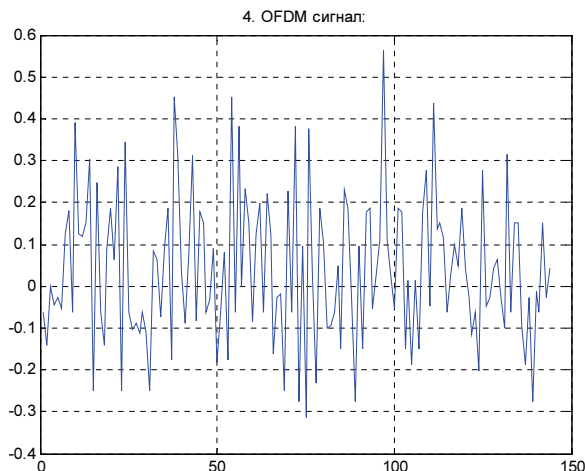
Направеният анализ показва, че при m -кратна манипулация колкото m е по-голямо, толкова и получената грешка показана на фиг. 10 е по-голяма. Това означава, че изборът на този параметър оказва съществено влияние при така моделираната OFDM система. Почти еднакви резултати се получават за двата вида модулация PSK и QAM.

Следващата стъпка е извършване на обратно бързо преобразуване на Фурие /IFFT/ за всеки блок данни и добавяне на цикличен префикс /CPI/. Резултата от тази операция е показан на фиг. 6.



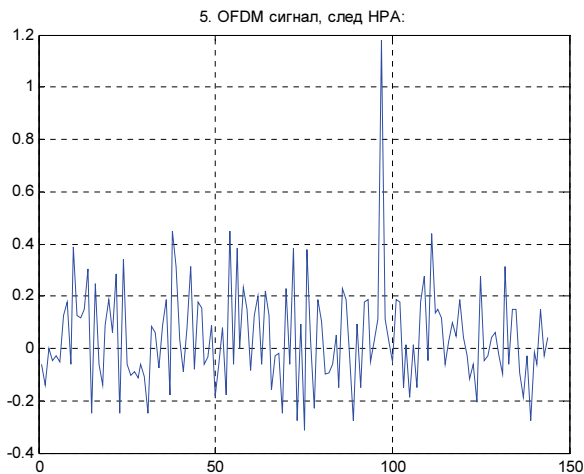
Фиг. 6. Вид на входните данни, след извършване на IFFT.

Чрез преобразуване на паралелните данни /от изхода на IFFT блока/ в последователни се получава крайният вид на OFDM сигнала – фиг. 7.



Фиг. 7. Получен /идеален/ OFDM сигнал.

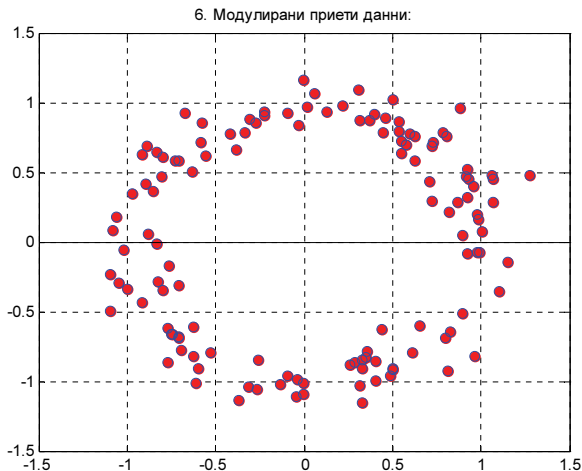
Тука има възможност да се оцени влиянието на канала, като за целта може да се добави адитивен бял Гаусов шум /ADWG/ към сигнала, чрез избор на стойност сигнал/шум /SNR/ в децибели. Изкривяването, което се получава при усилването на сигнала от крайния усилвател, също е от голямо значение и неговото влияние може да се симулира, като се зададе прага, от който започват нелинейните изкривявания. Така полученият променен сигнал е показан на фиг. 8. Тези два блока, както беше показано на фиг. 2, могат да бъдат пропуснати и съответно да се генерира идеален сигнал, който бе показан на фиг. 7.



Фиг. 8. Реален OFDM сигнал.

Получената грешка при приемането на сигнала, отбелязана със зелен цвят на фиг. 10, показва, че избора на краен усилвател */HPA/* е от голямо значение, като високото съотношение между пиковата и средната мощност на сигнала */PAPR/* е един от основните недостатъци при *OFDM* системите.

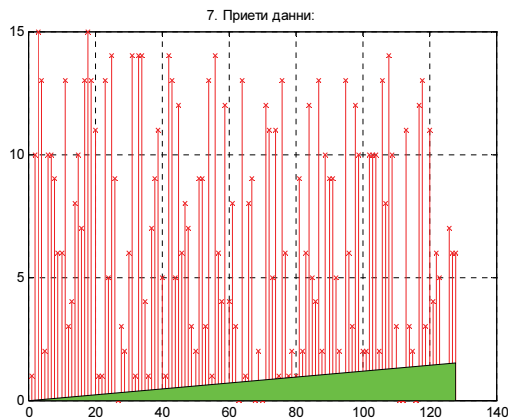
На следващите графики са представени операциите, които се реализират в *OFDM* приемника от фиг. 3. Вида на получените модулирани данни, след приемане на сигнала от фиг. 8, извършване на последователно-паралелно преобразуване, отстраняване на цикличния префикс */CP/* и преминаване през правото преобразуване на Фурие, е представен на фиг.9.



Фиг. 9. Модулирани приети данни.

След сравнение на фиг. 5 /модулирани данни в *OFDM* предавателя/ с тази на фиг. 9 /модулирани приети данни/, може да визуално да се оцени влиянието на канала и на крайния усилвател върху приетите данни.

На графиката от фиг. 10, са представени приетите данни.



Фиг. 10. Приети данни. Оценка на грешката.

Извършва се сравнение между предадените - фиг. 4 и получените данни - фиг. 10, като големината на грешката е право-пропорционална на височината на „зеления“ триъгълник - фиг. 10. По този начин лесно и бързо могат да се анализират основните параметри в една **OFDM** система, както и да се оцени влиянието на канала и на крайния усилвател върху приетите данни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на резултатите от симулационните изследвания показва, че в най-голяма степен, грешката при приемане на сигнала, зависи от вида на използвания краен усилвател, като грешката, получена при работа на усилвателя в нелинейната си част на усилване е значителна. Затова един от основните недостатъци при **OFDM** системите е високото съотношение между пиковата и средната мощност на сигнала **/PAPR/**, което ще бъде обект на по-нататъшни изследвания.

Кратността на избраната модулация – **4, 16, 64** /независимо, дали тя е фазова или квадратурно-амплитудна модулация/ също е от голямо значение, като по-добри резултати се получават при 4-кратна квадратурно-амплитудна модулация **/4QAM/**.

В по-малка степен оказва влияние размера на блока, като по-добри показатели се получават при по-голям блок данни.

За да се избегне влиянието на междусимволната интерференция **/ISI/**, причинена от многопътното разпространение на сигнала, би било добре, ако се избере продължителността на защитния интервал **/GP/** да бъде не по-малка от една десета от продължителността на **OFDM** символа.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] B. Bedzhev, M. Iliev, A General Method for Synthesis of Uniform Sequences with Perfect Periodic Autocorrelation, Novel Algorithms and Techniques in Telecommunications and Networking, Springer, 2010

[2] В. Вишневский, С. Портной, И. Шахнович, Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G, Техносфера, 2009 г.

[3] М. Илиев. Системи от сигнали в широколентовите безжични комуникации. Русенски университет „Ангел Кънчев”, 2011 г.

[4] М. Илиев. Безжични технологии за пренос на данни. Русенски университет „Ангел Кънчев”, 2011

[5] Farooq Khan, LTE for 4G Mobile Broadband, Cambridge University Press, 2009

[6] Hyung G. Myung, Single Carrier Orthogonal Multiple Access Technique for Broadband Wireless Communications, Polytechnic University, Brooklyn, NY, 2007

[7] St. Sesia, Iss. Toufik, M. Baker, LTE - The UMTS Long Term Evolution, Wiley, 2009

За контакти:

Проф. Михаил Илиев, Катедра “Телекомуникации”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел. 082-888-673, e-mail: miliev@uni-ruse.bg

инж. Виктор Хадживасилев, Катедра “Телекомуникации”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, e-mail: vhadzhivasilev@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.