

Denumirea proiectului

Sistem OFDM bazat pe utilizarea FFT cu argument neîntreg

Contract de finanțare nr. **PN-III-3-213PED/2017**

Cod proiect: PN-III-P2-2.1-PED-2016-0855

Director proiect prof.dr.ing. Codrin Donciu

Contractor: Universitatea Tehnică Gh. Asachi din Iași

Etapă II Realizarea și testarea modelului experimental

A2.1. Dezvoltare și testare module de emisie și recepție.

A2.2. Integrarea componentelor

A2.3. Stabilirea procedurii de încercare. Testarea modelului experimental. Optimizări.

A2.4. Dezvoltarea paginii web a proiectului. Actualizarea periodică a paginii

A2.5. Diseminarea rezultatelor proiectului

Cuprins

Rezumat	3
Dezvoltare si testare module de emisie si receptie.	4
Integrarea componentelor	12
Stabilirea procedurii de încercare. Testarea modelului experimental. Optimizări.....	13
Concluzii	17
Dezvoltarea paginii web a proiectului. Actualizarea periodică a paginii	18
Diseminarea rezultatelor proiectului	18

Rezumat

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) este metoda de modulare utilizata de toate tehnologiile wireless (Wi-Fi, WiMAX, comunicații 4G, DSL, ADSL, VDSL, comunicații militare si prin satelit). Punctul slab al metodei il reprezintă ICI (Inter Carrier Interference) si Inter-Symbol Interference (ISI).

Proiectul a propus dezvoltarea unui sistem OFDM care sa decodeze datele in condiții severe de erori ISI si ICI, fără influențarea procesării in timp real. Decodarea se realizează pe baza supraesantionarii in frecventa pe baza unui algoritm DFT nou, cu argument neîntreg si prin selectarea punctelor complexe pe baza unui algoritm de calcul al minimului erorilor minime.

S-a dezvoltat si testat un modul de emisie implementat cu funcții de control al perturbațiilor necesare testării si doua module de recepție pentru studiul comparativ (un modul clasic si un modul bazat pe propunerea de proiect). S-a realizat integrarea componentelor si s-a stabilit procedura de încercare.

In urma testărilor s-a observat ca modulul de recepție propus prin proiect are o imunitate superioara la perturbații in condițiile in care acesta nu utilizează nici rutina de corecție a offsetului de frecventa si nici piloți pentru egalizarea canalului. Utilizarea supraesantionarii in frecventa pe baza FFT cu argument neîntreg a permis obținerea unui timp de procesare redus de $\log_2 M / \log_2 N$ ori, în care N și M reprezintă numărul de puncte din secvența de semnal, respectiv secvența asupra căreia i s-ar aplica zero padding.

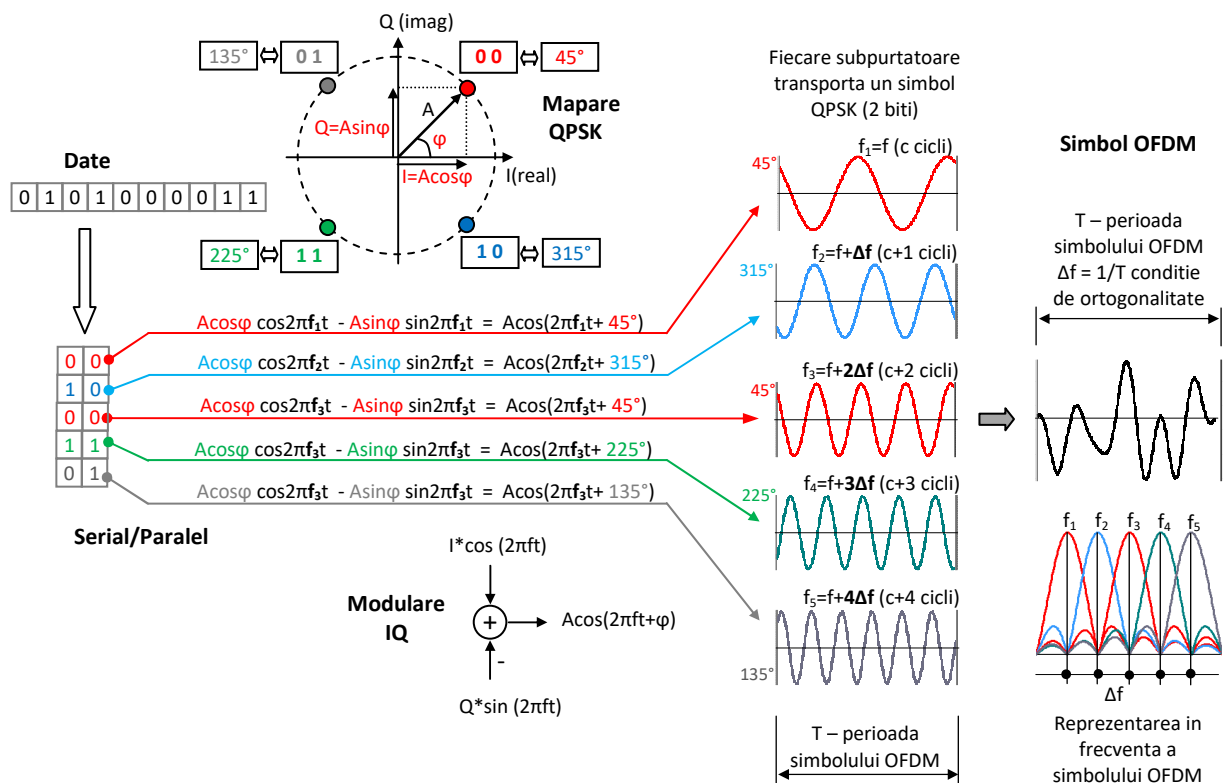
S-a dezvoltat pagina web a proiectului, disponibila pe: <http://www.fftofdm.ieeia.tuiasi.ro/ro/index.html> si s-au diseminat rezultatele proiectului prin 4 lucrări științifice: 2 lucrări la 2018 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (în curs de indexare wos), o lucrare în revista IEEE Access și una în volumul conferinței 12th IEEE International Conference on Communications (COMM)

- OFDM Benchmark for demodulation impairments evaluation
- OFDM based on FFT decoder with non-integer argument
- Evaluation of a Wireless Transport Network. Emulator Used for SDN Applications Development

A2.1 Dezvoltare si testare module de emisie si receptie

Prezentam in continuare mecanismul de modulare a unui simbol OFDM. Șirul de biți, care urmează a fi transmis, este împărțit în subșiruri paralele. Numărul subșirurilor paralele este egal cu cel al subpurtătoarelor. Biții fiecărui subșir sunt grupați în funcție de tipul de modulare ales pentru transmitere. Consideram modularea aleasa ca fiind QPSK. Biții vor fi grupați cate doi, deoarece modularea admite 4 stări cu faze diferite ale subpurtătoarelor (faza 45, 135, 225 si 315) corespunzătoare stărilor unei secvențe de 2 biți (00, 01, 11, 10). Corespondenta dintre starea grupului de 2 biți și faza alocata se realizează prin mapare. În urma mapării, fiecărui grup de biți îi va corespunde un număr complex $I+jQ$. Coeficienții I și Q sunt utilizați în modularea IQ, astfel încât, după modulare, se va obține pentru fiecare grup de 2 biți ai unui subșir, o subpurtătoare cu faza corespunzătoare stării biților și cu frecvența proporțională cu numărul subșirului din care provin biții.

Subpurtătoarea se obține ca suma $I*\cos() + Q*\sin()$. Se utilizează modularea IQ din considerente constructive (nu necesita controlarea fazei la generarea subpurtătoarelor). Toate subpurtătoarele obținute se sumează și se obține astfel un simbol OFDM (un semnal de perioada T compus dintr-o multitudine de sinusoid). Simbolurile se transmit serial, unul după altul, către receptor.

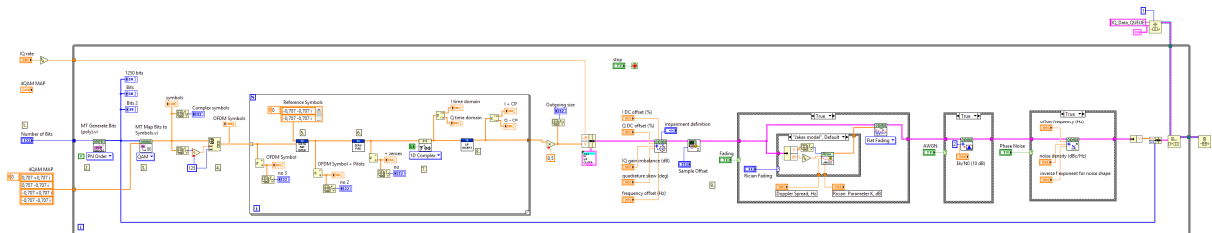


Semnalul original emis de către emițător traversează direct spațiul către receptor. Existența obiectelor aflate în mediul de propagare face să apară reflexii ale semnalului original, reflexii care ajung și ele la receptor, influențând originalul. Fiecare semnal reflectat are o întârziere cauzată de

drumul suplimentar parcurs, regăsită în atenuarea amplitudinii și schimbarea de fază. Reflexiile semnalului unui simbol poate influența simbolul însuși, cauzând Intrasymbol interference sau poate influența simbolul următor cauzând Inter-Symbol Interference (ISI).

Modul emisie

Modulul de emisie are ca scop transmiterea datelor (primite pe intrare în format binar) către modulul receptor, în format OFDM. Modulul de emisie este alcătuit din noua structuri principale, prezentate în continuare.



1. Inițializare număr de biți de transmis (1250) și harta 4QAM (QPSK)

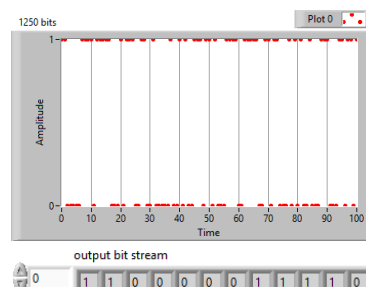
Se stabilește numărul de biți de trimis pe un ciclu de emisie și tipul de modulare. Pentru exemplificare s-a ales transmiterea într-un ciclu a 1250 biți utilizând o modulare de tip QPSK. Mai jos este data secțiunea din modulul de emisie răspunzătoare pentru stabilirea acestor parametri.

2. Generarea unui sir aleatoriu de 1250 biți, pe baza funcției MT Genetate Bits

Are ca scop generarea unor secvențe pseudo-aleatoare de date în format binar utilizabile în testarea demodulatorului.

Secvențele PN sunt utilizate în multe aplicații și standarde precum 802.11a și DVB. Câteva exemple de secvențe PN sunt Secvențe M (numite și secvențe de registru de deplasare în lungime maximă), Secvențe de aur și Secvențe Kasami. O secvență M generează o secvență periodică de lungime $L = 2m - 1$ biți și este generată de linear feedback shift registers (LFSRs). Sunt cunoscute două tipuri de implementări: implementarea Fibonacci și implementarea Galois.

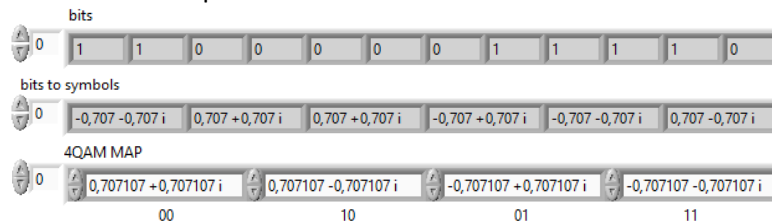
Mai jos este data secțiunea din modulul de emisie răspunzătoare pentru generarea pseudo-aleatoare și o reprezentare grafică a primelor 100 de date dintr-o secvență de 1250.



3. Maparea biților în simboluri complexe (625, 1250/2)

Reprezintă procesul prin care unui grup de biți i se atribuie un simbol complex (număr complex), în funcție de tipul de mapare utilizat. Pentru 4QAM există 4 simboluri complexe care pot fi alocate grupurilor de 2 biți care pot fi doar în una din următoarele stări: 00; 01; 10; 11.

Mai jos este data secțiunea din modulul de emisie răspunzătoare pentru maparea 4QAM și o reprezentare grafică a corelațiilor <grup de 2 biți - simbol complex>, pe un exemplu de 12 biți ce are corespondența în 6 simboluri complexe.



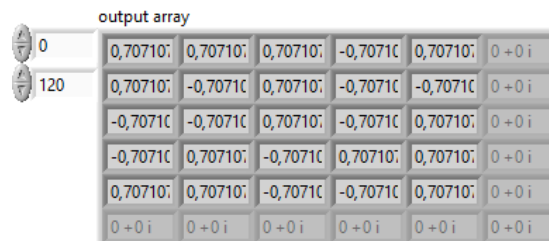
În urma mapării, șirul de 1250 biți se transformă într-un șir de 625 simboluri complexe. Este evident că numărul simbolurilor complexe scade cu cât crește numărul stărilor tipului de mapare.

4. Obținerea simbolurilor OFDM (125 puncte pe un simbol OFDM, obținute din 125 simboluri complexe)

Cele 625 de simboluri complexe sunt divizate în 5 seturi de câte 125. Un set de 125 de simboluri complexe reprezintă un simbol OFDM.

Mai jos este data secțiunea din modulul de emisie răspunzătoare pentru divizarea în simboluri OFDM și o reprezentare grafică matricială a ultimilor elemente ale celor 5 simboluri OFDM.

5 linii de 125 de simboluri complexe

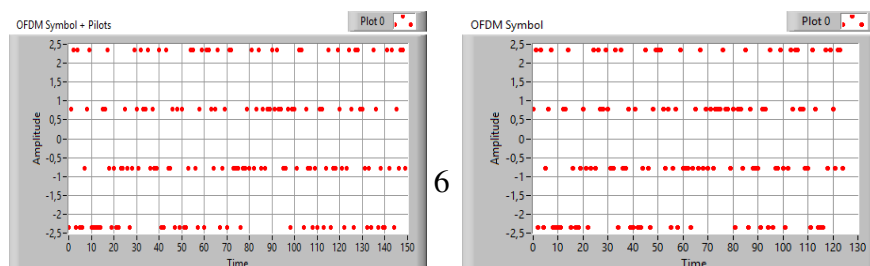


5. Introducerea piloților

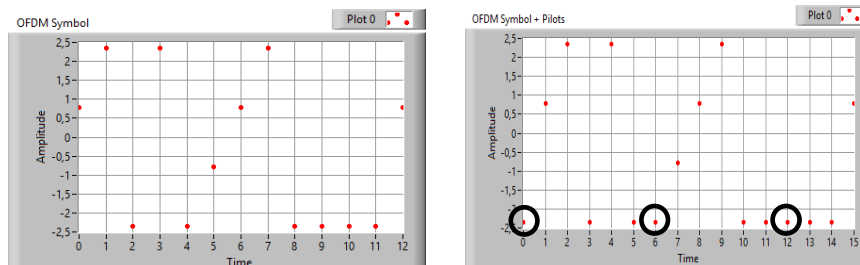
În vederea estimării modului în care perturbațiile au influențat semnalul OFDM pe canalul de transmisie (de la emițător la receptor) se introduc o serie de piloți (simboluri complexe martori) ale căror poziții în constelație sunt cunoscute. Constelația reprezintă vizualizarea simbolurilor complexe în coordonate IQ.

În acest sens, după fiecare al 5-lea simbol complex s-a introdus câte un pilot, obținându-se astfel un simbol OFDM de 150 de puncte. Această operație se efectuează pentru fiecare simbol OFDM în parte.

Un simbol OFDM este alcătuit din 125 simboluri complexe ce transmit informația a 250 de biți. Fiecare dintre cele 125 de simbolurile complexe poate avea oricare stare dintre cele 4 ale constelației QPSK. Deoarece amplitudinea este constantă este prezentată doar variația fazei în radiani.

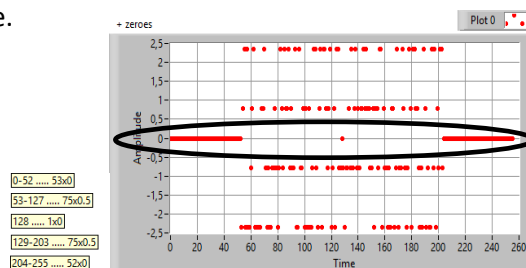


Astfel se poate observa simbolul OFDM de 125 de puncte, fără piloți, simbolul OFDM de 150 de puncte, cu piloți și un detaliu al acestor 2 secvențe pentru a se putea observa primii 3 piloți introduși.



6. Introducerea a 106 de zerouri (se obține OFDM cu 256 puncte, se considera reprezentarea în frecvență a simbolului OFDM)

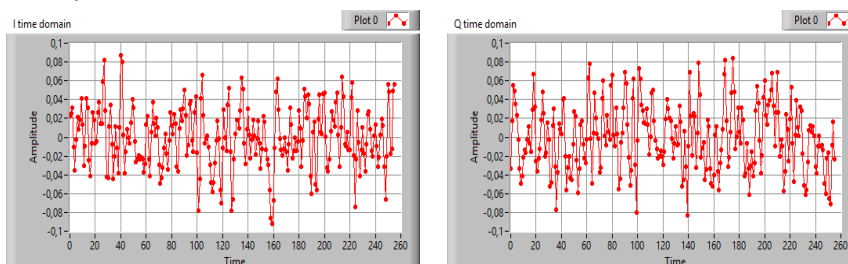
Mai jos este data secțiunea din modulul de emisie răspunzătoare pentru introducerea gărzii în frecvență realizată de zerouri. Reprezentarea grafică relevă simbolul OFDM din 256 de puncte care cuprinde datele utile piloții și zerourile.



7. Realizarea conversiei din domeniul frecvență în domeniul timp prin Inverse FFT (256 puncte în timp ale unde I Q)

Conversia din domeniul frecvență în domeniul timp se realizează pe baza inversei FFT. Astfel cele 256 puncte din domeniul timp sunt convertite în domeniul timp în tot 256 de puncte. Punctele fiind complexe se pot urmări ca două semnale individuale I și Q.

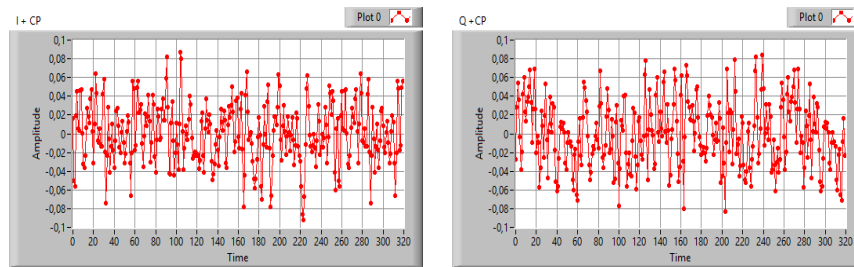
Mai jos este data secțiunea din modulul de emisie răspunzătoare pentru conversia frecvență - timp (IFFT). Reprezentarea grafică relevă cele 2 semnale din domeniul timp I și Q, fiecare fiind alcătuit din 256 de puncte.



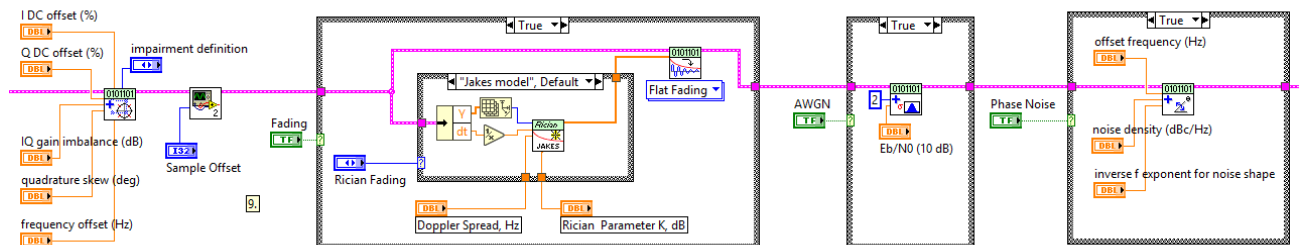
8. Introducerea prefixului ciclic

Prefixul ciclic (CP) este realizat din 64 puncte și se obține copiind ultimele 64 de puncte din semnal și introducându-le la începutul semnalului (se obțin semnalele I și Q de 320 de puncte)

Mai jos este data secțiunea din modulul de emisie răspunzătoare pentru introducerea prefixului ciclic. Reprezentarea grafica releva cele 2 semnale din domeniul timp I și Q, fiecare fiind alcătuit din 320 de puncte.



9. Introducerea funcțiilor de perturbare a semnalului



IQ Impairments, permite stabilirea următorilor parametri:

- **I DC offset** specifică decalajul DC dorit. Valoarea implicită este 0.0. Valorile valide sunt de la -100 la +100, inclusiv;
- **Q DC offset** specifică decalajul DC dorit. Valoarea implicită este 0.0. Valorile valide sunt de la -100 la +100, inclusiv;
- **IQ gain imbalance** specifică raportul dorit de câștig, în dB. Valorile valide sunt între -6.0 și +6.0. Valoarea implicită este 0.0;
- **Quadrature skew** specifică oblicitatea de cvadratură. Valorile valide sunt cuprinse între -30.0 și +30.0 grade. Valoarea implicită este 0.0;
- **Impairment definition** specifică ce set de ecuații este utilizat pentru a reprezenta deficiențele (vertical sau axial)
- **Frequency offset** specifică decalajul de frecvență în Hertz (Hz), valoarea implicită este 0.0.

Sample offset, are la baza o reeșantionare a semnalului astfel încât acesta să fie transformat într-un semnal eșantionat necoerent. Consta într-o etapă de supraeșantionare în timp (x10) urmată de o decimare în timp translatat. Poate avea valori de la 0 la 9, corespunzătoare eșantioanelor de la care se începe decimarea.

Fading Profile, aplică un profil de cădere a spectrului de frecvență. Forma de undă poate fi utilizată pentru a testa imunitatea receptorului la canalele cu căderi generate de efectul Doppler. Efectul Doppler constă în variația frecvenței unei unde emise de o sursă dacă aceasta se află în mișcare față

de receptor. Efectul Doppler poate fi constatat atât în cazul undelor electromagnetice, cât și în cazul undelor elastice.

AWGN generează un zgomot Gaussian alb (AWGN) cu densitate uniformă de putere și o adaugă la forma de undă complexă. Returnează o formă de undă de semnal plus zgomot, cu un E_b/N_0 specificat de utilizator, unde E_b reprezintă energia pe bit și N_0 reprezintă variația zgomotului.

Phase Noise creează zgomot de fază generând mai întâi zgomot alb și apoi aplicând un filtru $1/f$ (invers f). Ieșirea filtrului este dimensionată astfel încât densitatea zgomotului generată să fie egală cu frecvența de decalare specificată. Componenta fazică a semnalului de intrare este apoi modulată de zgomotul filtrat și permite stabilirea următorilor parametri:

- **offset frequency** specifică frecvența de offset, în hertz (Hz), pentru densitatea specificată a zgomotului. Intrările valide pentru acest parametru trebuie să se situeze în intervalul de la 0,7 mHz la $f_s/2$, unde f_s este frecvența de eșantionare ($1/dt$) a formei de undă complexe de intrare. Valoarea implicită este 200.000 Hz.
- **noise density** specifică contribuția zgomotului într-o lățime de bandă de 1 Hz față de puterea totală la frecvența de decalare specificată (Hz). Valoarea implicită este -120 dBc/Hz;
- **inverse f exponent for noise shape** specifică exponentul curbei $1/f$ dorite. Curba inversă f specifică forma spectrală a zgomotului de fază. Valoarea implicită este 2. Valorile valide sunt de la -3.0 la 3.0 inclusiv.

Cele doua semnale I și Q sunt înmulțite cu purtătoarea (in cvadratura) și sumate. După aplicarea unui filtru trece sus, semnalul este emis către receptor.

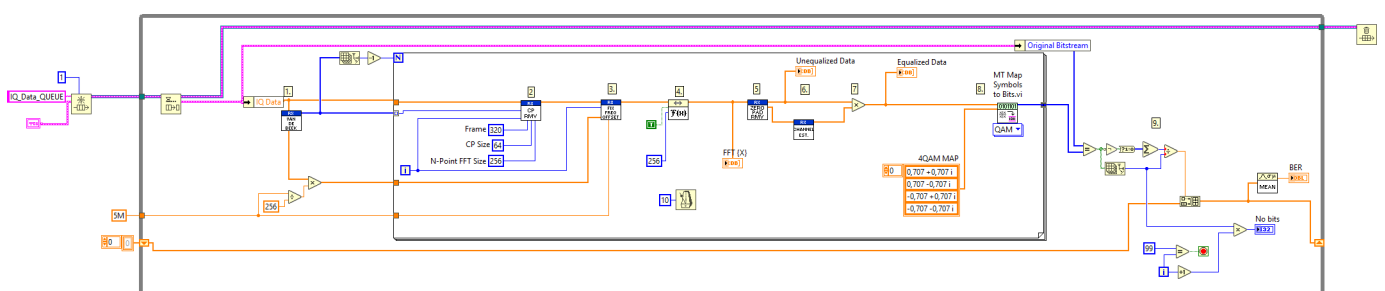
Modul recepție

În vederea realizării unui studiu comparativ între metoda clasică și cea propusă prin proiect s-a dezvoltat un modul de recepție clasic și un modul de recepție bazat pe aplicarea transformatei Fourier cu argument neîntreg.

Modulul de recepție are rolul de a prelua datele de la emițător după ce datele au parcurs canalul de comunicație și au fost influențate de către acesta. Recepția datelor se face în domeniul timp și debutează prin înmulțirea în cvadratura cu purtătoarea și aplicarea unui filtru trece jos în urma căruia se obțin semnalele I și Q.

Trecerea de la punctele din domeniul timp la biții transmiși se realizează prin operații inverse față de transmisie, dar se are în vedere înlăturarea erorilor introduse de canalul de transmisie.

Modulul de recepție clasic este prezentat în continuare și conține următoarele rutine:



1. Estimare frequency offset

Se utilizează algoritmului Van De Beek pentru a detecta prefixul ciclic ca localizare și se realizează estimarea frequency offset pe baza poziției prefixului ciclic.

2. Înlăturarea prefixului ciclic

Din cele 320 de puncte complexe din domeniul timp se înlătură prefixul ciclic și rămân 256 de puncte.

3. Compensarea frequency offset

Pe baza evaluării realizate la estimarea frequency offset, în acest pas se aplică corecția asupra semnalului.

4. Calcularea FFT-ului

Se realizează trecerea celor 256 de puncte din domeniul timp în 256 de puncte în domeniul frecvență.

5. Separarea piloților și înlăturarea zerourilor

Se extrag cei 25 de piloți și cele 106 de zerouri și se obțin 125 de simboluri complexe

6. Calcularea coeficienților de egalizare

Se calculează coeficienții de egalizare a canalului pe baza poziției cunoscute a piloților și a valorilor obținute în urma traversării canalului de transmisie.

7. Egalizarea canalului

Se aplică coeficienții de egalizare celor 125 de simboluri complexe

8. Conversia simbolurilor complexe în biți

Se convertesc simbolurile în biți și se obține un șir de 250 de biți.

Modulul de recepție bazat pe supraesantionare în frecvență.

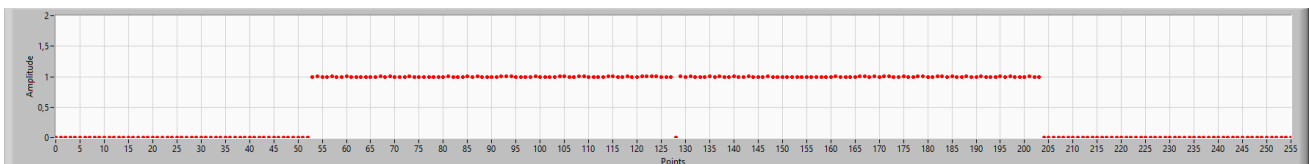
Este alcătuit doar **din rutina FFT cu argument neîntreg**, prezentată în etapa precedentă și din **rutina de selectare a punctelor**.

În urma aplicării rutinei cu argument neîntreg pentru setul de N de puncte recepționate se vor obține $F \cdot N$ puncte în domeniul frecvenței, fiecărui punct din cele N puncte din domeniul timp corespunzându-i un set de F puncte. Avantajul utilizării FFT cu argument neîntreg comparativ cu metoda zero padding îl reprezintă numărul redus de operații. În comparație cu metoda zero padding,

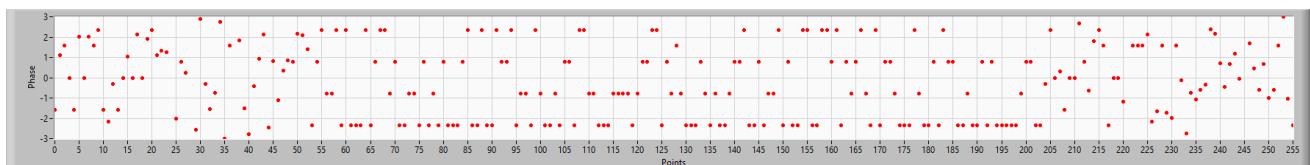
numărul de operații necesare este redus de $\log_2 M / \log_2 N$ ori, în care N și M reprezintă numărul de puncte din secvența de semnal, respectiv secvența asupra căreia i se aplică zero padding, M fiind $F \cdot N$. Această metodă poate fi utilizată pentru FFT, oferind aceleași rezultate (spectre identice) cu cele ale metodei zero padding, dar cu o reducere semnificativă a volumului de calcul.

Deoarece prin procesul de supraesantionare în frecvență se obțin mai multe puncte în domeniul frecvență decât sunt în domeniul timp (de F ori mai multe puncte decât cele N din domeniul timp), este necesară realizarea unei selecții astfel încât să se obțină în final același număr de puncte (N). Selecția s-a realizat pe baza indicelui minimului unui set de 4 erori minime pătratice. Astfel, din cadrul fiecărui set de F puncte din domeniul frecvență corespunzătoare unui punct din domeniul timp, s-a extras un singur punct (complex), obținându-se în final N puncte complexe.

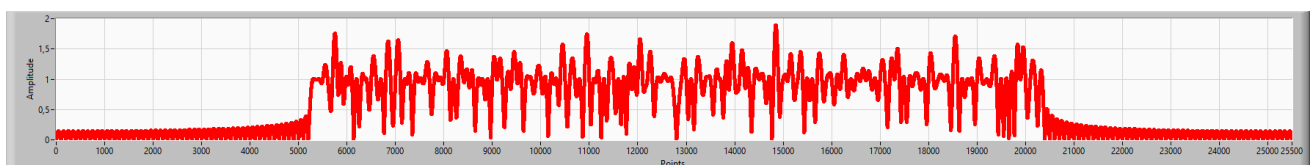
În continuare este prezentat un exemplu de decodare a unui punct pentru o mapare 4QAM. Utilizarea decodului clasic conferă prin intermediul FFT pe 256 de puncte o ieșire complexă de 256 de puncte. Se poate observa structura datelor pentru valorile de amplitudine:



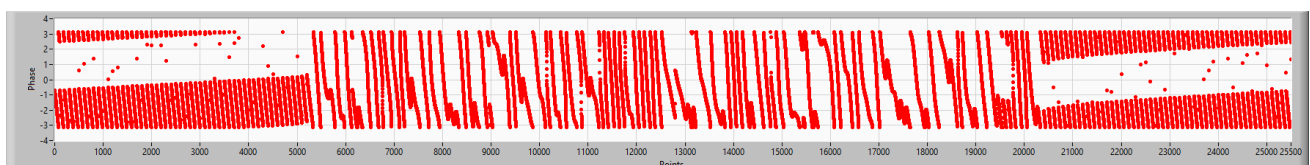
și structura datelor pentru valorile de fază. O singură valoare pentru amplitudine și 4 valori posibile pentru fază.



În situația decodului dezvoltat, se vor obține pentru $F=100$, 25600 puncte complexe. Se poate vedea structura datelor pentru valorile de amplitudine:



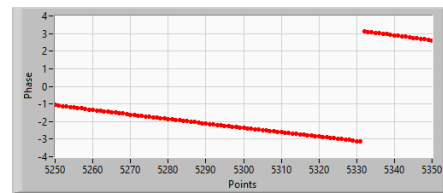
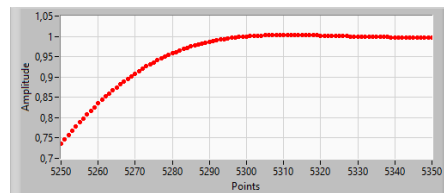
și structura datelor pentru valorile de fază.



Selecția celor 256 puncte din cele 25600 puncte obținute s-a realizat astfel:

- Pentru fiecare punct complex ce urmează să fie selectat se analizează secvența de $F=100$ puncte corespunzătoare acestuia. Sunt prezentate mai jos secvențele de amplitudine și fază

aferețe primului punct activ, cu index 53. Astfel se va analiza secvențele cuprinse între limitele 5250 și 5350.



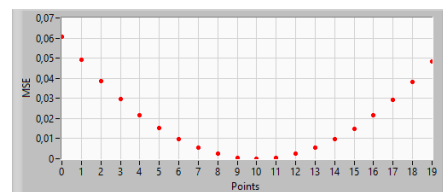
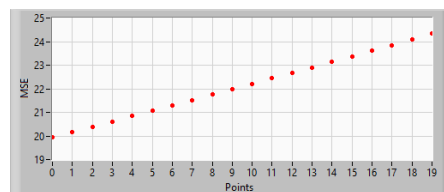
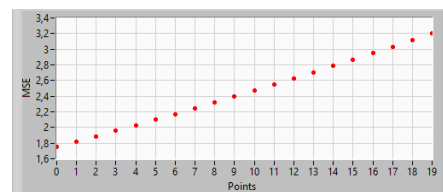
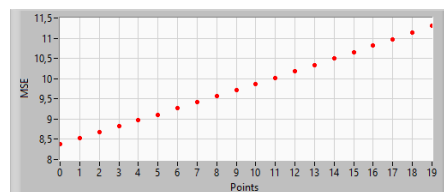
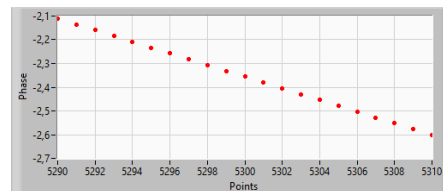
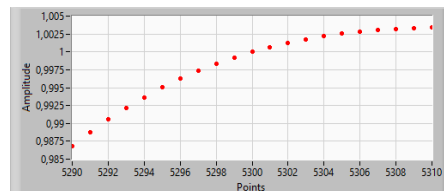
- Din aceste secvențe se utilizează o zonă de $N/10$ pentru care se va calcula eroarea minimă pătratică față de cele 4 grupe de posibilități:

amplitudine 1; fază 0,785398;

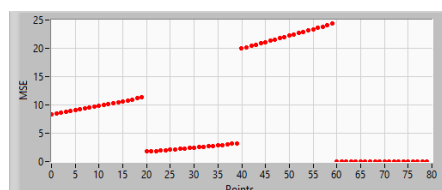
amplitudine 1; fază -0,785398;

amplitudine 1; fază 2,35619;

amplitudine 1; fază -2,35619;



Erorile pătratice față de cele 4 grupe de posibilități sunt prezentate mai jos în cadrul unui singur grafic.



- Se alege drept index pentru punctul 53, indexul celui mai mic minim al erorilor pătratice. În cazul de față index 10 corespunde grupului 4.

A2.2. Integrarea componentelor

Integrarea componentelor a constat în realizarea legăturilor dintre emițător și receptor din punct de vedere al interschimbabilității datelor transmise în regim de verificare.

Astfel modulele au fost prevăzute cu instrumente pentru a transmite alături de datele perturbate de canalul de transmisie și a datelor nealterate și a tuturor parametrilor utilizați în alterarea datelor.

1250

A2.3. Stabilirea procedurii de încercare. Testarea modelului experimental. Optimizări.

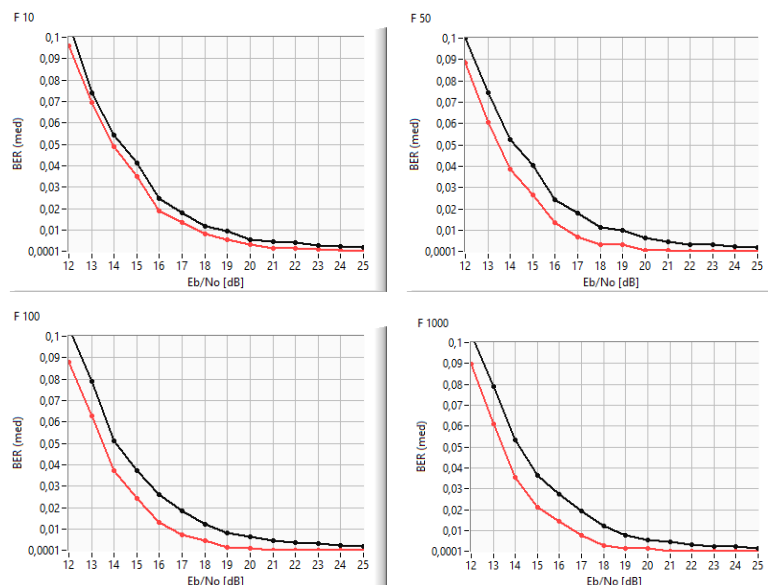
Procedura de testare:

- biți transmiși de la generator către receptor pentru calculul BER: 25000 (mediere pe 100 secvențe de transmitere)
- calcul BER: se compara biții recepționați cu biții transmiși și se raportează BER ca fiind raportul dintre numărul de biți recepționați greșit și numărul total de biți
- tipul de mapare testat: 4QAM
- IQ rate 5.16 MHz
- parametrii de test: IQ Impairments (IQ gain imbalance, Quadrature skew, Frequency offset), Fading Profile, AWGN
- graficele marcat cu negru reprezintă rezultatele obținute prin varianta clasică a decodurului iar cele cu roșu reprezintă rezultatele obținute prin utilizarea decodurului dezvoltat în cadrul proiectului.

Testarea imunității pentru un canal cu zgomot (AWGN)

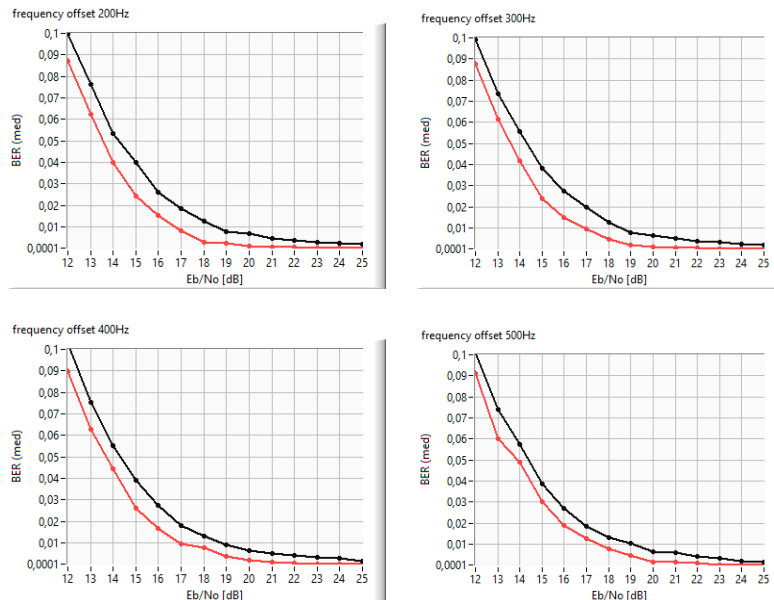
E_b/N_0 (raportul densitate spectrală a puterii pe bit / zgomot) este o măsură a raportului semnal-zgomot utilizată atunci când se compară performanța ratei de eroare de biți (BER) a diferitelor scheme de modulație digitală fără a ține seama de lățimea de bandă.

Se prezintă rezultatele comparative între decodorul clasic și decodorul dezvoltat pentru 4 valori diferite ale parametrului F: 10; 50; 100 și 1000.

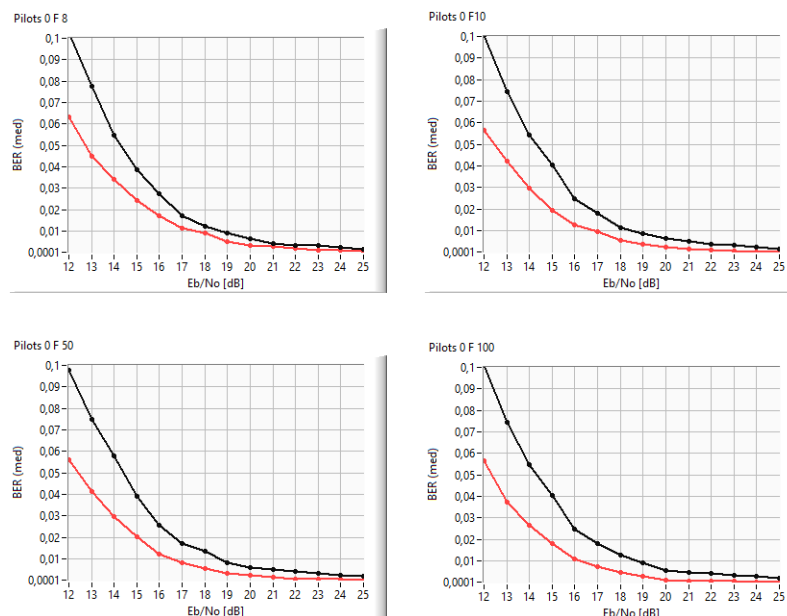


In toate cele 4 cazuri se observa o imunitate crescuta la zgomot gaussian a decodorului dezvoltat prin proiect.

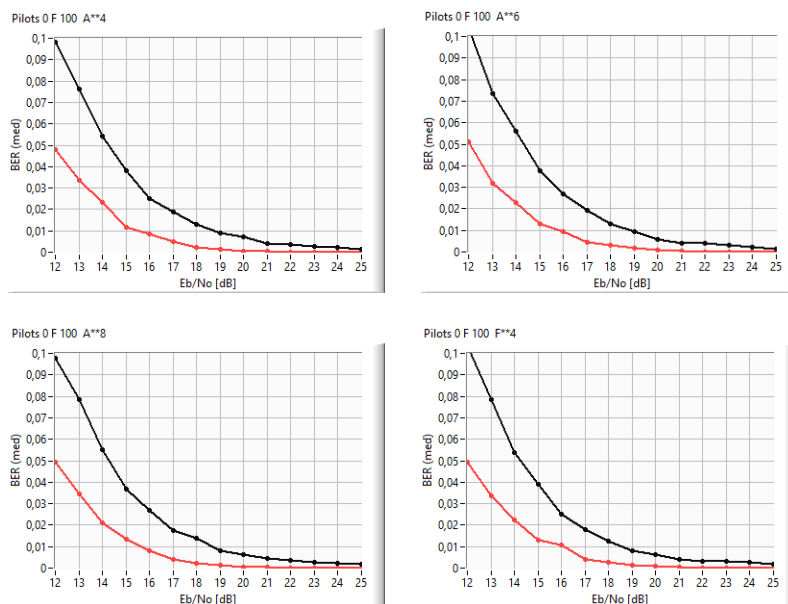
Se prezintă in continuare rezultatele comparative intre decodorul clasic si decodorul dezvoltat pentru $F=100$ si valori diferite ale parametrului frequency offset.



Se prezintă rezultatele comparative intre decodorul clasic si decodorul dezvoltat pentru 4 valori diferite ale parametrului F : 8; 50; 100 si 1000, dar de această dată fără utilizarea informațiilor provenite de la piloți. Se constata o creștere a imunitarii la zgomot a decodorului dezvoltat.

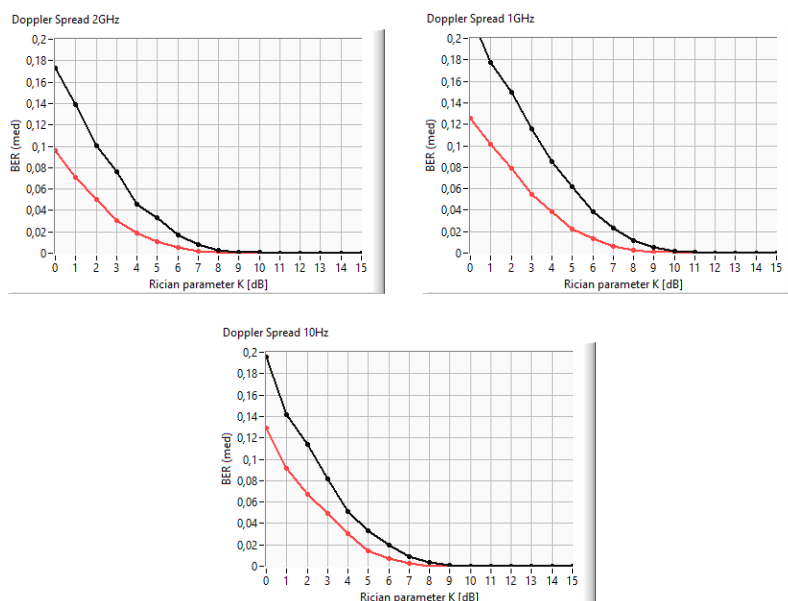


In figurile următoare este prezentata influenta ponderilor erorilor date de amplitudine si faza in calculul erorii minime. Nu s-au utilizat informații provenite de la piloți iar parametrul F a avut valoarea 100. Graficele sunt realizate pentru eroare amplitudine la puterea 4, 6 si 8, eroarea de faza fiind la puterea 2 si eroarea de faza la puterea 4 pentru eroare de amplitudine la puterea 2.

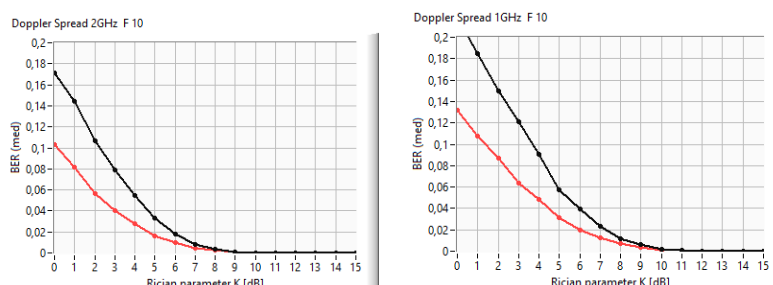


Testarea imunității pentru un canal cu Fading

In figurile următoare este prezentata evoluția comparativa a BER pentru cele doua demoduloare pentru un canal cu pierderi. Parametrul F a avut valoarea 100 iar parametrul Rician a variat intre 0 si 15 dB. Graficele au fost trasate pentru doppler spread 2GHz, 1GHz si 10Hz.



Se poate observa ca o diminuare a parametrului F la 10 nu influențează buna comportare a decodului dezvoltat.

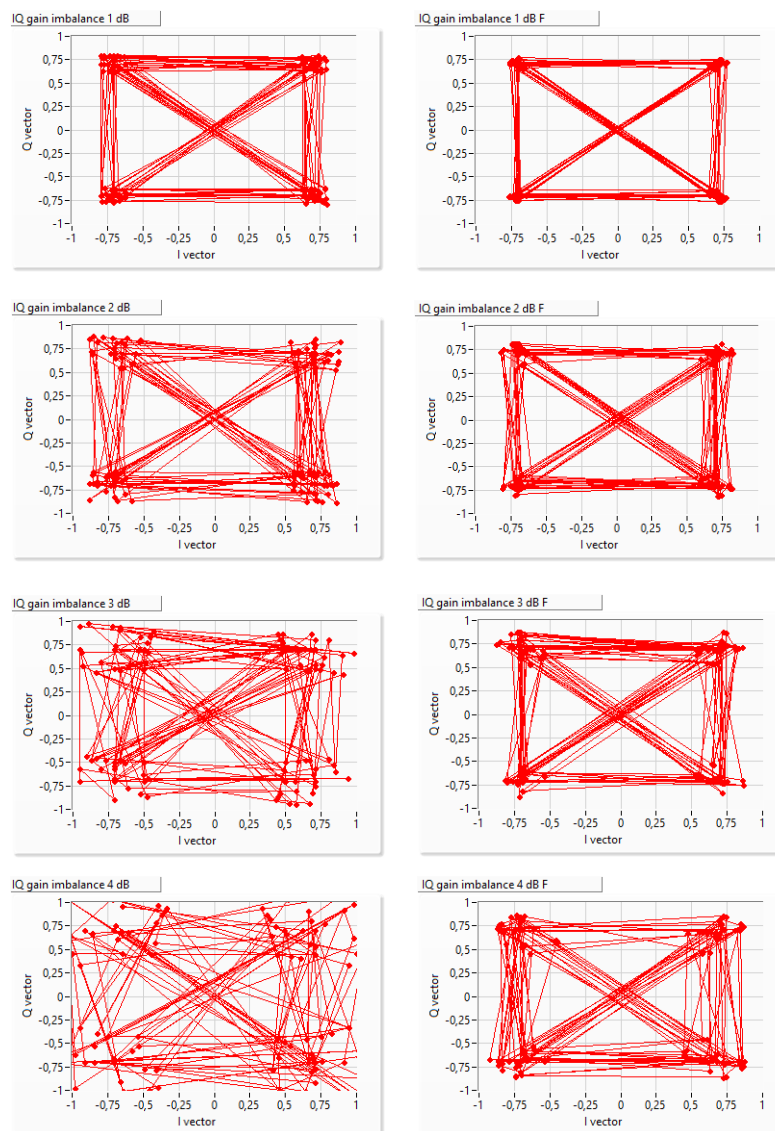


Pentru o serie de perturbații nu se obține eroare în transmisie, BER fiind zero, în condiții reale ale canalelor de transmisie. Aceste perturbații pot însă contribui la apariția unui BER diferit de zero când sunt sumate cu alte perturbații.

Testarea imunității pentru IQ gain imbalance

Sunt prezentate comparativ constelațiile obținute de demodulatorul clasic și cel dezvoltat în proiect pentru IQ gain imbalance 1dB, 2dB, 3dB și 4dB (comparativ stânga - clasic, dreapta - propus)

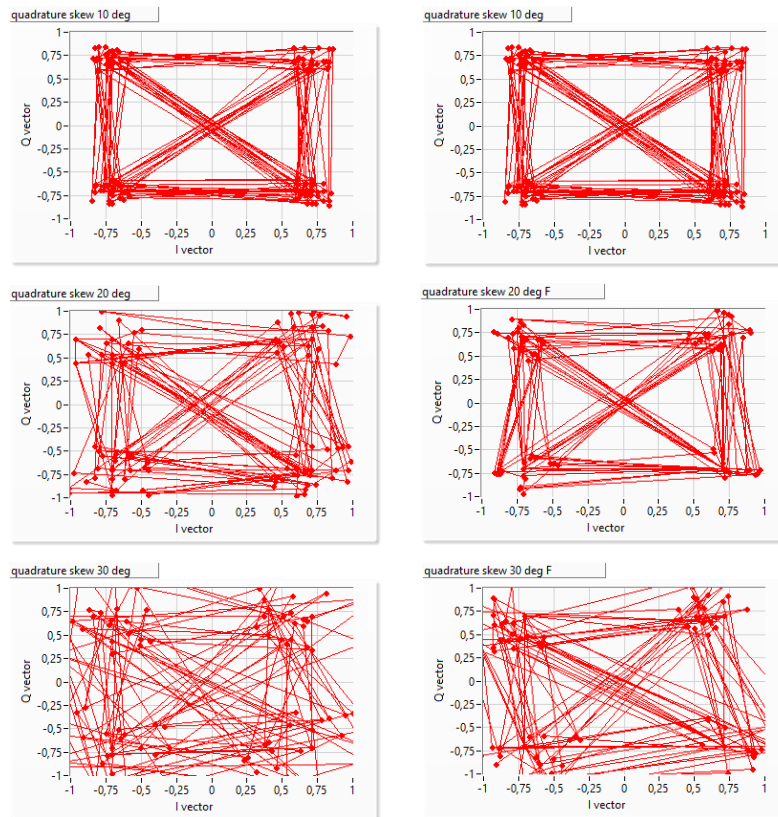
Se poate observa dispersia mult mai mare a constelațiilor în cazul metodei clasice față de cele obținute prin metoda propusă.



Testarea imunității pentru Quadrature skew

Sunt prezentate comparativ constelațiile obținute de demodulatorul clasic și cel dezvoltat în proiect pentru quadrature skew de 10grade, 20grade și 30 grade.

Se poate observa dispersia mult mai mare a constelațiilor în cazul metodei clasice față de cele obținute prin metoda propusă.



Concluzii

Pe baza dezvoltării unui generator de semnal OFDM care permite introducerea controlată a perturbațiilor specifice canalelor de transmisie a datelor s-au testat comparativ rezultatele obținute pentru un decoder clasic și decodorul propus prin proiect.

Decodorul dezvoltat pe baza transformatei Fourier cu argument neîntreg releva obținerea unei îmbunătățiri net superioare decodurului clasic la toate tipurile de perturbații în condițiile în care utilizează un număr redus de operații față de zero padding în obținerea supraesantionării în domeniul frecvență.

Mai mult, decodorul nu utilizează nici algoritmi de corecție a offsetului de frecvență și nici piloți de egalizare a canalului precum utilizează metoda clasică.

A2.4 Dezvoltarea paginii web a proiectului, A2.5. Diseminarea rezultatelor proiectului

S-a dezvoltat pagina web a proiectului, disponibilă pe:
<http://www.fftofdm.ieceia.tuiasi.ro/ro/index.html>

Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași
Facultatea de Inginerie Electrică, Energetică și Informatică Aplicată

Sistem OFDM bazat pe utilizarea FFT cu argument neîntreg

Proiect PNIII-213PED/2017

Rezumat Parteneri Rezultate Contact

Rezumat

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) este metoda de modulare utilizată de toate tehnologiile wireless (Wi-Fi, WiMAX, comunicații 4G, DSL, ADSL, VDSL, comunicații militare și prin satelit). Punctul slab al metodei îl reprezintă ICI (Inter Carrier Interference) și Inter-Symbol Interference (ISI). Proiectul a propus dezvoltarea unui sistem OFDM care să demoduleze datele în condiții de erori ISI și ICI, fără influențarea procesării în timp real. Demodularea se realizează pe baza supraesantionării în frecvență pe baza unui algoritm DFT nou, cu argument neîntreg.

S-au diseminat rezultatele proiectului prin 4 lucrări științifice: 2 lucrări la 2018 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (în curs de indexare WoS), o lucrare în revista IEEE Access și una în volumul conferinței 12th IEEE International Conference on Communications (COMM):

- **OFDM Benchmark for demodulation impairments evaluation**

OFDM Benchmark for demodulation impairments evaluation

Iulian Ghinda
Technical University "Gheorghe Asachi" of Iasi
Faculty of Electrical Engineering
Iasi, Romania
iuliangd@yahoo.com

Codrin Donciu
Technical University "Gheorghe Asachi" of Iasi
Faculty of Electrical Engineering
Iasi, Romania
cdonciu@tuiasi.ro

Abstract—Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is a modulation method with superior performance, being one of the most efficient methods of using the spectral band. The present paper proposes the development of an OFDM benchmark for demodulation impairments evaluation consisting of two modules: transmitter and receiver module. The tests have been made with LabView RF Communications/Modulations Toolkit.

Keywords—OFDM benchmark; demodulation impairments evaluation

I. INTRODUCTION

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is a modulation method with superior performance, being an efficient method of using the spectral band. OFDM can be found in Wi-Fi networks, WiMAX, 4G mobile communication Long Term Evolution (LTE), digital subscriber line (DSL), majority of power-line communications applications (PLC), ADSL and VDSL internet access modems, military applications and satellite communications [1-4].

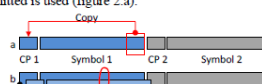
OFDM extends the concept of data transmission from single carrier modulation to parallel data transmission on multiple subcarriers at the same time on a single transmission channel. In other words, a frequency band, which represents a channel, is divided into multiple frequencies belonging to subcarriers (Frequency Division) and the information is transmitted simultaneously on subcarriers (Multiplexing). Each subcarrier can be modulated differently according to a conventional digital modulation scheme and each channel is

Operation of the OFDM method is based on achieving the orthogonality condition between the subcarriers. The orthogonality is achieved if the frequency distance between each consecutive subcarriers is the same (Δf) and it is equal with the inverse of the OFDM symbol period. In these conditions, in frequency, maximum power of each subcarrier corresponds to the minimum of any other subcarrier, thus no interference is recorded between them.

II. OFDM INTERFERENCE

To remove the effect several subcarriers called pilot are used, which are transmitted with the role to estimate the behavior of the transmission environment between the transmitter and receiver. The most used method is to transmit the pilot subcarriers in each OFDM symbol. The subcarriers between two pilots are corrected (equalized) [5,6] by interpolating the amplitude and phase information obtained from the pilots. In figure 2.b the overlapping of reflections (R1), (R2) and (R3) over the original signal (O) can be observed.

In order to prevent inter-symbol interference (ISI), insertion of a cyclic prefix (CP) before each symbol to be transmitted is used (figure 2.a).



This work was supported by a Grant of Romanian National Authority for Scientific Research, project OFDM system based on the use of FFT with non-integer argument, PN III - 213 PED / 2017 and project 13PTE / 2016.

- OFDM based on FFT decoder with non-integer argument

OFDM based on FFT decoder with non-integer argument

Iulian Ghinda
 Technical University "Gheorghe Asachi" of Iasi
 Faculty of Electrical Engineering
 Iasi, Romania
juliangd@yahoo.com

Codrin Donciu
 Technical University "Gheorghe Asachi" of Iasi
 Faculty of Electrical Engineering
 Iasi, Romania
cdonciu@tuiasi.ro

Abstract— Due to its efficient use of the spectral band and also to its immunity to selective fading, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) modulation was adopted by many of the wireless technologies of today. However resilient this modulation technique is to Inter Symbol Interference (ISI) or Inter Carrier Interference (ICI), the errors determined by this interference mechanism are significant. The present paper proposes the development of a new OFDM decoding algorithm which can demodulate data in severe ISI or ICI conditions. It is based on use of oversampling in frequency technique, performed by a Discrete Fourier Transform (DFT) with non-integer argument. The obtained results are reported against the standard ones.

Keywords— OFDM, oversampling in frequency, interference errors

I. INTRODUCTION

OFDM is a modulation method with superior performances and benefits compared to traditional ones, in terms of spectrum efficiency, good resilience to interference, immunity to selective fading and channel equalization. Therefore, it can be found in many Wi-Fi networks, WiMAX, 4G mobile communication Long Term Evolution (LTE), digital subscriber line (DSL), majority of power-line communications applications (PLC), ADSL and VDSL internet access modems, military applications and satellite communications [1]-[4]. However, significant transmission errors, caused by interference mechanisms have been reported [5]. Since the subject of this paper is to propose a new method to reduce them, the most important one, ICI, is presented below.

complex bin) will be inaccurate. Numerous researches were conducted [6] in order to reduce the ICI errors. Also, a detailed

This work was supported by a Grant of Romanian National Authority for Scientific Research, project OFDM system based on the use of FFT with non-integer argument, PN III - 213 PED / 2017 and project 13PTE / 2016.

- Evaluation of a Wireless Transport Network. Emulator Used for SDN Applications Development



Received January 11, 2018, accepted February 27, 2018, date of publication March 14, 2018, date of current version April 18, 2018.
 Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2018.2815644

Evaluation of a Wireless Transport Network Emulator Used for SDN Applications Development

ALEXANDRU STANCU^{1,2}, ALEXANDRU VULPE¹, (Member, IEEE), AND SIMONA HALUNGA¹, (Member, IEEE)

¹Telecommunications Department, Faculty of Electronics, Telecommunications and Information Technology, Politehnica University of Bucharest, Bucharest, Romania

²Ceragon Networks, Bucharest, Romania

Corresponding author: Alexandru Stancu (alex.stancu@radio.pub.ro)

This work was supported in part by the Ministry of Innovation and Research, UEFISCDI, Project 5 Sol/2017 within PNCDI III, Integrated Software Platform for Mobile Malware Analysis (ToR-SIM), in part by OFDM System based on FFT with non-integer argument (FractOFDM) under Contract 213PED/2017, and in part by MultiMonD2 under Grant PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-0637.

ABSTRACT Software Defined Networking (SDN) is a paradigm that emerged in the networking industry recently. Many standardization activities are still ongoing and having the right tools to support these efforts is important. The Wireless Transport Emulator (WTE) was designed and implemented for supporting the standardization endeavors of the Wireless Transport Project, part of the Open Networking Foundation (ONF). WTE uses different technologies in order to simulate a wireless transport network, consisting of emulated Network Elements, that expose two information models proposed by ONF: the Microwave Information Model, TR-532, and the Core Information Model, TR-512. The tool is also extremely useful for SDN application developers that want to create applications using the aforementioned information models, because it eliminates their need of owning real, expensive, wireless transport devices in order to test the functionality that they are developing. This paper describes the architecture of the WTE and then evaluates the simulator with regards to some characteristics. Based on the measurements, conclusions about the capabilities of the simulator are drawn.

INDEX TERMS Software-defined networking, wireless transport, open networking foundation.

This work was supported in part by the Ministry of Innovation and Research, UEFISCDI, Project 5 Sol/2017 within PNCDI III, Integrated Software Platform for Mobile Malware Analysis (ToR-SIM), in part by OFDM System based on FFT with non-integer argument (FractOFDM) under Contract 213PED/2017, and in part by MultiMonD2 under Grant PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-0637.

- **Considerations for Emission Security Risks From the Perspective of Signal Processing Techniques**

Considerations for Emission Security Risks From the Perspective of Signal Processing Techniques

Răzvan Bărtușică, Mircea Popescu, Alexandru Boitan
 The Special Telecommunications Service
 Bucharest, Romania
 razvan.bartusica@sts.ro, mircea.popescu@sts.ro,
 alexandru.boitan@sts.ro

Simona Halunga
 University Politehnica of Bucharest, Electronics
 Electronics, Telecommunications and Information
 Technology Faculty
 Bucharest, Romania
 simona.halunga@upb.ro

Abstract—The main scope of this paper is to improve the security risk analysis of critical communication and information systems. One of the major security objectives is to ensure the security emissions generated by electronic equipment, which may contain confidential data. A rigorous risk analysis helps to establish optimal protection solutions to prevent information leakage through compromising emissions. This work analyzes some security threat, reflected in the technical capabilities of the interceptor in the processing of compromising signals, which supports substantially risk analyzes for the protected system. The estimation of the signal to noise ratio of compromising emissions, at the boundary of protected area, had been tested and validated by measurements.

Keywords— *compromising emissions; emission security; EMSEC.*

I. INTRODUCTION

Ensuring the confidentiality of data processed by information systems against leakage of information through the secondary electromagnetic emissions generated by IT equipment has become a priority in the context of IT & C technology evolving at an impressively fast.

The risk analysis of Emissions Security (EMSEC) for a communications and information system is generally studied in a correlated manner, combining the vulnerabilities and the threats, in order to protect the electronic system against possible hacking attempts. A rigorous EMSEC risk analysis helps to establish the TEMPEST protection measures against electronic systems information leakage through compromising emissions.

A large number of studies in the domain of information leakage due to accidentally electromagnetic emissions, underlining the importance of the EMSEC domain. In [1-4] the authors concentrated on evaluating and reducing compromising emissions, while in [5-7] a number of test methods to analyze radiated and conducted emission had been

In this work we study the influence of the processing techniques of the compromising signals that are generated by a commercial computer, when increasing the signal to noise ratio received at the boundary of protected area, and implicitly growing the risk of interception of these electromagnetic emissions by a hostile receiver. Based on the developed test bed, the estimated value of signal to noise ratio is then verified in lab.

The paper is organized as follows - Section II establishes the theoretical basis for estimating the signal-to-noise ratio depending on the processing gain of compromising emissions, obtained in a scenario in which a commercial computer should be protected; Section III tests the theoretical approaches presented in section II, by laboratory tests; Section IV is dedicated for conclusions.

II. ESTIMATE OF EMISSION SECURITY RISKS FROM THE PERSPECTIVE OF SIGNAL PROCESSING TECHNIQUES

In order to analyze the risk of intercepting compromising emissions generated by devices, one should study (1) the vulnerabilities of the security environment, such as electromagnetic attenuation of the buildings and free space between the equipment and the perimeter of the protected area, the ambient radio noise in site; (2) the vulnerabilities of the information system, such as the level of secondary RF emissions generated by equipment, the signal-to-noise ratio at the protected area boundary and (3) make an estimation of the possible threats, like the noise factor of the eavesdropper's receiver, the gain of the directional antenna and the processing gain achieved with signal processing used by the eavesdropper [17-18].

In order to study the influence of signal interception processing techniques on the risk of emissions security, one should determine the signal to noise ratio for the compromising emissions generated by the computer systems, from EMSEC point of view [1].

This work was supported by a grant of the Ministry of Innovation and Research, UEFISCDI, project number 5 So112017 within PNCDI III, Integrated Software Platform for Mobile Malware Analysis (ToR-SIM), and partially funded under Contract no. 213PED/2017, OFDM System based on FFT with non-integer argument (FractOFDM).