

RAPORT FINAL

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 "Gheorghe Asachi" din Iași

Partener: Universitatea "Politehnica" din București

Pagina web a proiectului:

<http://www.fftofdm.ieeia.tuiasi.ro/ro/index.html>

2018

Cuprins

| | |
|---|----|
| Rezumat | 3 |
| Obiectivele și activitățile prevăzute / realizate. | 3 |
| Prezentarea rezultatelor obținute | 4 |
| Prezentarea nivelului de maturitate tehnologica (TRL) propus / realizat..... | 17 |
| Modul de atribuire și exploatare de către parteneri a drepturilor de proprietate | 17 |
| Impactul rezultatelor obținute..... | 18 |
| Prezentare succintă..... | 18 |

Rezumat

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) este metoda de modulare utilizata de covârșitoarea majoritate a tehnologiilor wireless utilizate în prezent (Wi-Fi, WiMAX, comunicații 4G, DSL, ADSL, VDSL, comunicații militare si prin satelit). Punctul slab al metodei îl reprezintă erorile cauzate de ICI (Inter Carrier Interference) si Inter-Symbol Interference (ISI).

Proiectul a permis dezvoltarea și validarea în condiții de laborator a modelului unui sistem OFDM care sa decodaze datele in condiții severe de erori ISI si ICI, fără influențarea semnificativă a procesării in timp real. Decodarea se realizează pe baza supra-eșantionării in frecventa pe baza unui algoritm DFT cu argument neîntreg si prin selectarea punctelor complexe pe baza unui algoritm de calcul al minimului erorilor minime. Metoda are caracter de noutate, fiind dezvoltată în cadrul colectivului de cercetare asociat.

1. Obiectivele si activitățile prevăzute / realizate

Obiectivul central al proiectului l-a constituit dezvoltarea și testarea în condiții de laborator a modelului experimental al unui sistem OFDM care sa utilizeze un nou mecanism de decodare a datelor, cu scopul reducerii erorilor cauzate de ICI (Inter Carrier Interference) si Inter-Symbol Interference (ISI).

Pentru atingerea acestui obiectiv, în planul de realizare a proiectului, **au fost prevăzute** două etape, cu activități distincte, după cum urmează:

Etapa I - Stabilirea specificațiilor funcționale si proiectarea modelului experimental

- A1.1. Cerințe și necesități. Stabilirea specificațiilor funcționale
- A1.2. Stabilirea arhitecturii și proiectarea modelului experimental
- A1.3. Dezvoltare si testare componenta software de demodulare

Etapa II Realizarea si testarea modelului experimental

- A2.1. Dezvoltare si testare module de emisie si 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

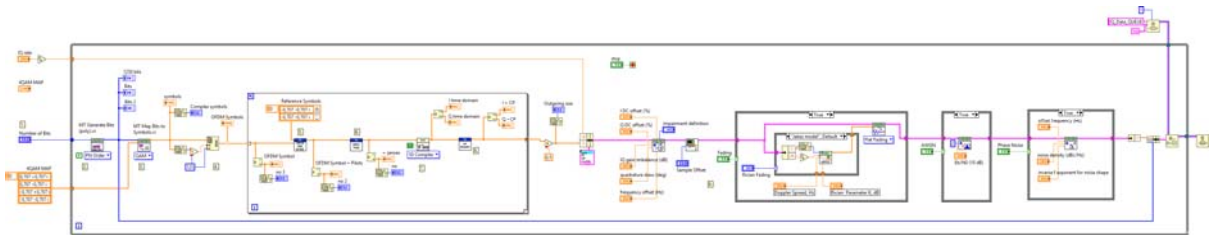
Activitățile realizate, în deplină concordanță cu cele prevăzute, au fost detaliate în Rapoartele științifice și tehnice înaintate la finalul etapelor către autoritatea contractantă.

2. Prezentarea rezultatelor obținute

Componente dezvoltate:

I. Modul emisie

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

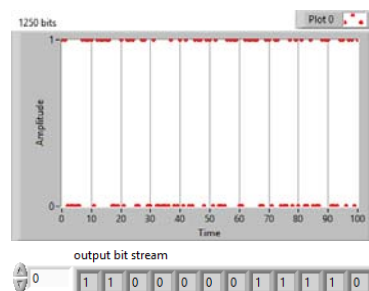


1. Inițializare număr de biți de transmis (1250) si harta 4QAM (QPSK)

Se stabilește numărul de biți de trimis pe un ciclu de emisie si tipul de modulare. Pentru exemplificare s-a ales transmiterea intr-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

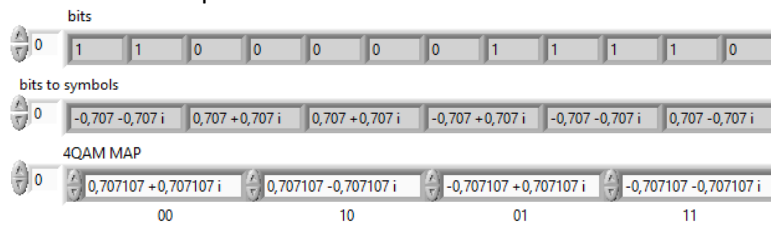
Are ca scop generarea unor secvențe pseudo-aleatoare de date in format binar utilizabile in testarea demodulatorului. Secvențele PN sunt utilizate în multe aplicații și standarde precum 802.11a și DVB. Câteva exemple de secvențe PN sunt Secvențe M (numite și secvențe de registru de deplasare în lungime maximă), Secvențe de aur și Secvențe Kasami. O secvență M generează o secvență periodică de lungime $L = 2^m - 1$ biți și este generată de linear feedback shift registers (LFSRs). Sunt cunoscute doua tipuri de implementări: implementarea Fibonacci și implementarea Galois. Mai jos este data secțiunea din modulul de emisie răspunzătoare pentru generarea pseudo-aleatoare si o reprezentare grafica a primelor 100 de date dintr-o secvența de 1250.



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

Reprezintă procesul prin care unui grup de biți i se atribuie un simbol complex (număr complex), in funcție de tipul de mapare utilizat. Pentru 4QAM exista 4 simboluri complexe care pot fi alocate grupurilor de 2 biți care pot fi doar in 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.

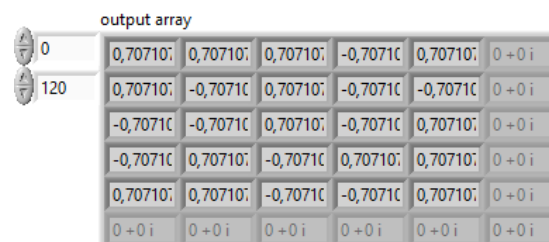


În urma mapării, șirul de 1250 biți se transformă într-un șir de 625 simboluri complexe. Este evident că numărul simbolurilor complexe scade cu cât crește numărul stărilor tipului de mapare.

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

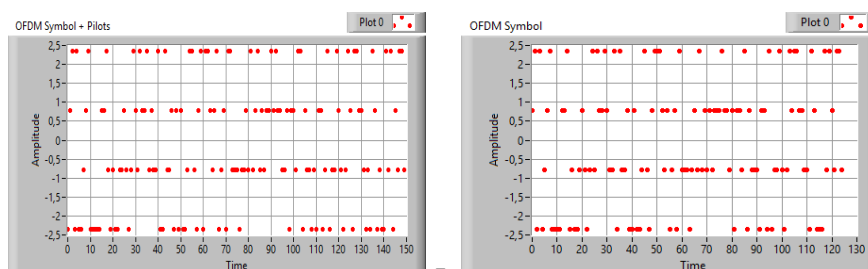


5. Introducerea piloților

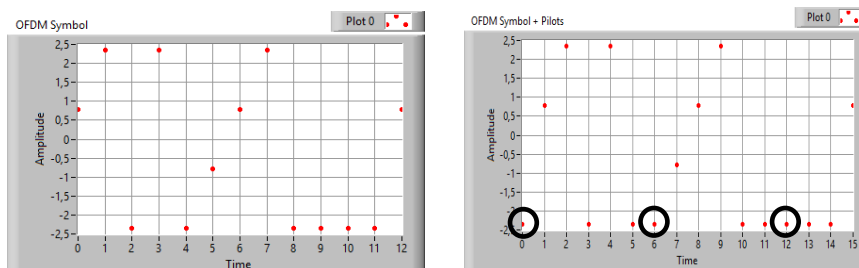
În vederea estimării modului în care perturbațiile au influențat semnalul OFDM pe canalul de transmisie (de la emițător la receptor) se introduc o serie de piloți (simboluri complexe martori) ale căror poziții în constelație sunt cunoscute. Constelația reprezintă vizualizarea simbolurilor complexe în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

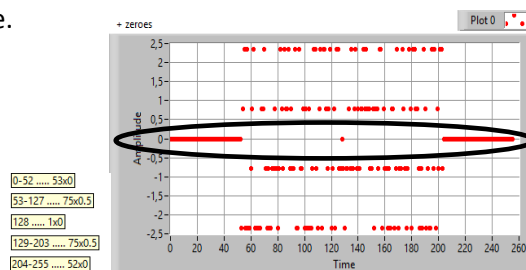


Astfel se poate observa simbolul OFDM de 125 de puncte, fără piloți, simbolul OFDM de 150 de puncte, cu piloți și un detaliu al acestor 2 secvențe pentru a se putea observa primii 3 piloți introduși.



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

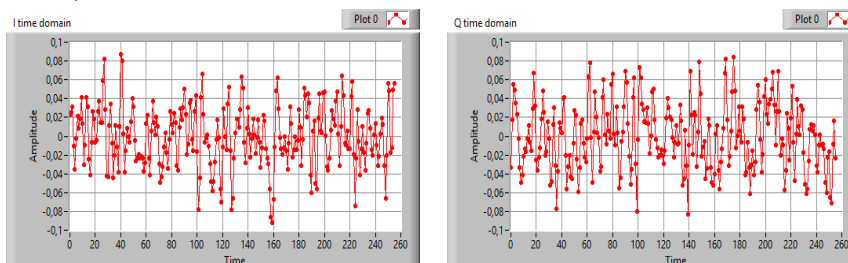
Mai jos este data secțiunea din modulul de emisie răspunzătoare pentru introducerea gărzii în frecvență realizată de zerouri. Reprezentarea grafică relevă simbolul OFDM din 256 de puncte care cuprinde datele utile ale piloților și zerourile.



7. Realizarea conversiei din domeniul frecvență în domeniul timp prin Inverse FFT (256 puncte în timp ale undei IQ)

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.

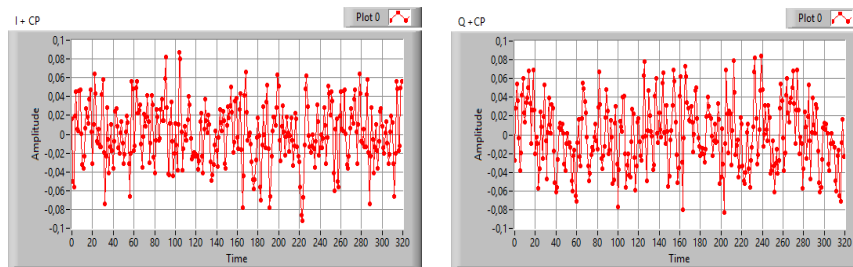
Mai jos este data secțiunea din modulul de emisie răspunzătoare pentru conversia frecvență - timp (IFFT). Reprezentarea grafică relevă cele 2 semnale din domeniul timp I și Q, fiecare fiind alcătuit din 256 de puncte.



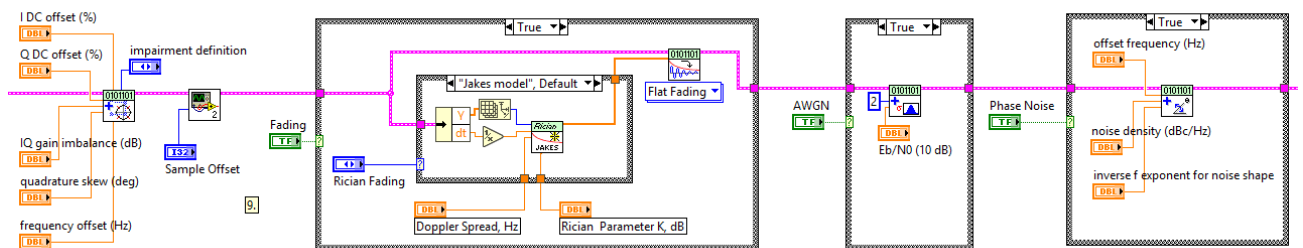
8. Introducerea prefixului ciclic

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 si 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 sa fie transformat într-un semnal eșantionat necoerent. Consta într-o etapa de supraeșantionare în timp (x10) urmata 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 (în cvadratura) și sumate. După aplicarea unui filtru trece sus, semnalul este emis către receptor.

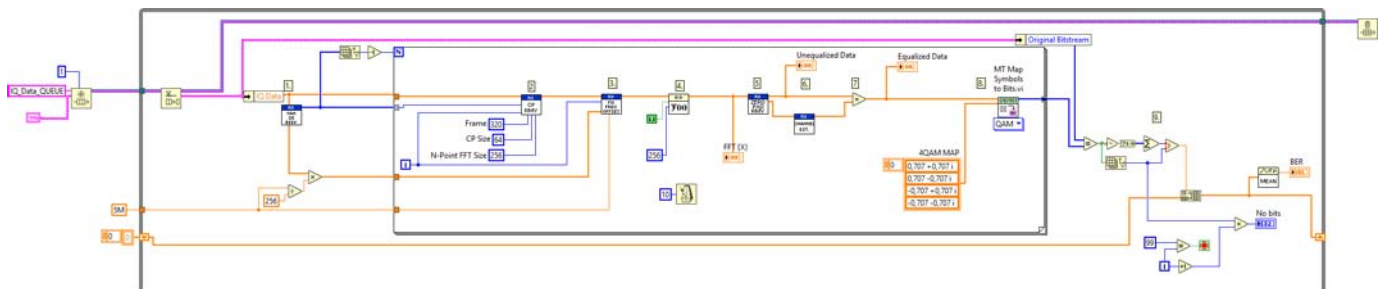
II. Modul recepție

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.

A. 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 înlătura prefixul ciclic și rămân 256 de puncte.

3. Compensarea frequency offset

Pe baza evaluării realizate la estimarea frequency offset, în acest pas se aplica 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

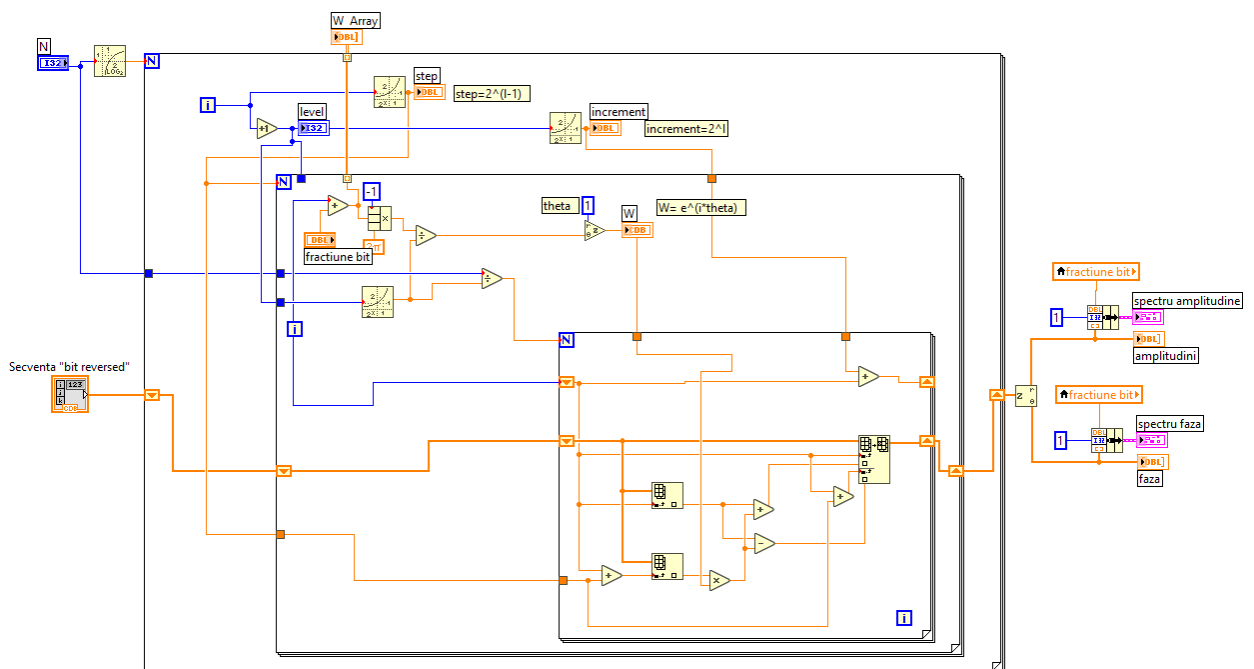
Se aplica coeficienții de egalizare celor 125 de simboluri complexe

8. Conversia simbolurilor complexe în biți

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

B. Modulul de recepție bazat pe supraesantionare în frecvență.

Este alcătuit din rutina FFT cu argument neîntreg și din rutina de selectare a punctelor.



În figura este prezentat algoritmul de calcul al FFT cu argument neîntreg dezvoltat prin metode de

instrumentație virtuală. Intrarea este desemnată de eşantioanele complexe decimate în timp, iar ieşirea este sub forma unui vector de elemente complexe. Algoritmul este realizat din înlanţuirea a trei bucle *for*. Pornind de la interior spre exterior, prima buclă *for* realizează calculul celulei de bază, diagrama fluture. Se realizează diagramele fluture din poziția *j* a tuturor TFD-urilor unei etape (*level*). Cea de a doua buclă *for* indexată după *j*, stabileşte poziția diagramei fluture de executat din interiorul fiecărui TFD. Bucla *for* superioară realizează comutarea între etape.

Specificația parametrilor implicați în algoritm:

- Parametrul *level* reprezintă numărul de etape necesare realizării TFR. Numărul level-urilor este de $\log_2 N$;
- Parametrul *step* reprezintă distanța dintre punctele de intrare ale diagramei fluture și este constantă pe un *level*;
- Parametrul *increment* are valoare dublă față de *step* și reprezintă distanța dintre două diagrame fluture cu aceeași poziție (aceiași *j*) în două TFD-uri alăturate și are aceeași valoare într-un *level*;
- Parametrul *i* indică poziția TFD-ului (grup compact de diagrame fluture);
- Parametrul *j* indică poziția diagramei fluture în TFD;
- Valoarea parametrului *W* pentru pe parcursul unui *level* depinde doar de valoarea parametrului *j*;
- Pentru fiecare *level* se calculează $N/2^{\text{level}}$ TFD-uri în 2^{level} puncte;
- Eşantioanele de intrare au parcurs procedura de decimare în timp, deci sunt reprezentate de *N* domenii frecvență, fiecare domeniu fiind alcătuit din câte un singur eşantion;
- Parametrul *fractiune bit* determina argumentul neîntreg.

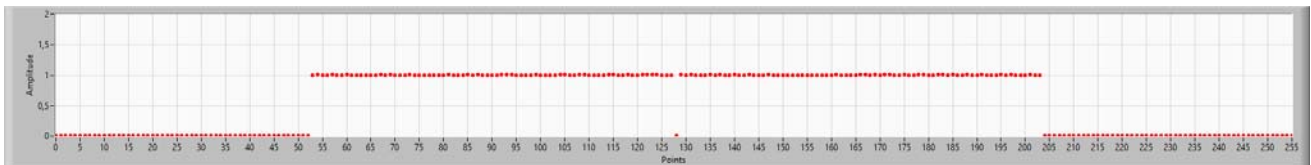
Pentru testarea demodulatorului s-a realizat un banc comparativ între metoda dezvoltată și Zero-Padding. Experimental s-au obținut aceleași valori de ieşire pentru ambele metode, confirmând astfel modelul teoretic.

În urma aplicării rutinei cu argument neîntreg pentru setul de *N* de puncte recepționate se vor obține *F***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***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.

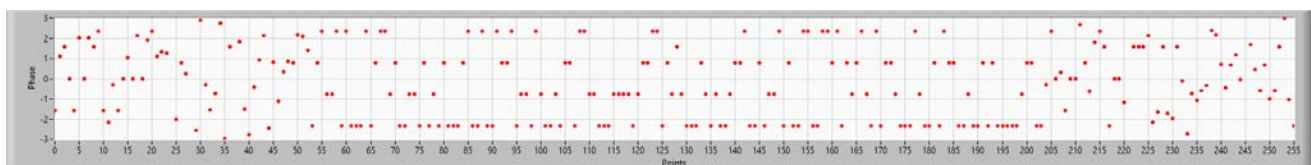
Deoarece prin procesul de supraesantionare în frecvența se obțin mai multe puncte în domeniul frecvența decât sunt în domeniul timp (de *F* ori mai multe puncte decât cele *N* din domeniul timp), este necesară realizarea unei selecții astfel încât să se obțină în final același număr de puncte (*N*). 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.

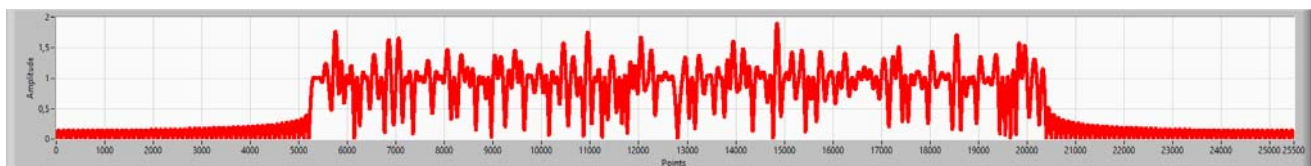
În continuare este prezentat un exemplu de decodare a unui punct pentru o mapare 4QAM. Utilizarea decodului clasic conferă prin intermediul FFT pe 256 de puncte o ieșire complexă de 256 de puncte. Se poate observa structura datelor pentru valorile de amplitudine:



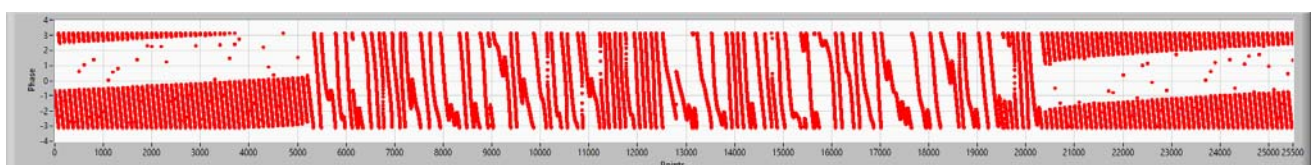
și structura datelor pentru valorile de fază. O singură valoare pentru amplitudine și 4 valori posibile pentru fază.



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

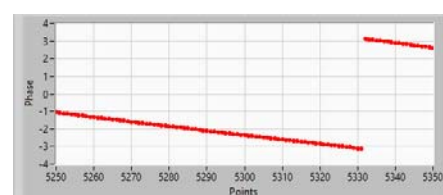
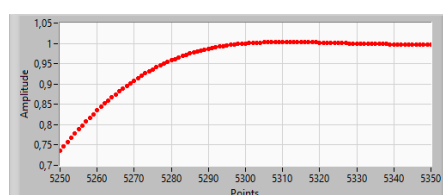


și structura datelor pentru valorile de fază.



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

- Pentru fiecare punct complex ce urmează a fi selectat se analizează secvența de $F=100$ puncte corespunzătoare acestuia. Sunt prezentate mai jos secvențele de amplitudine și fază aferente primului punct activ, cu index 53. Astfel se va analiza secvențele cuprinse între limitele 5250 și 5350.



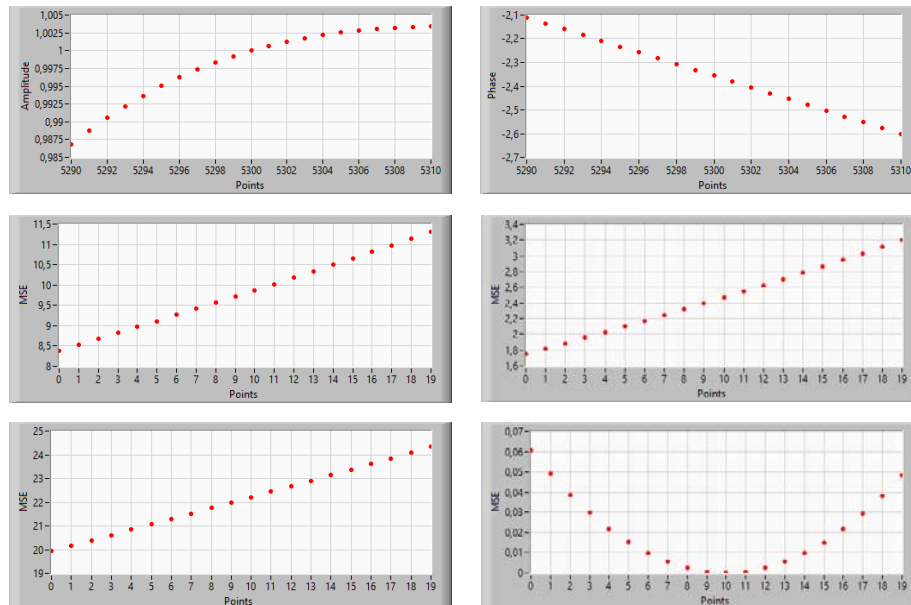
- Din aceste secvențe se utilizează o zonă de N/10 pentru care se va calcula eroarea minima pătratică fata de cele 4 grupe de posibilități:

amplitudine 1; faza 0,785398;

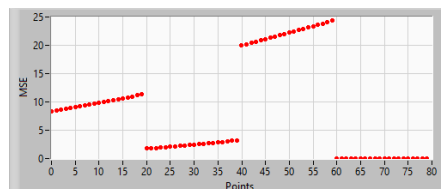
amplitudine 1; faza -0,785398;

amplitudine 1; faza 2,35619;

amplitudine 1; faza -2,35619;



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



- Se alege drept index pentru punctul 53, indexul celui mai mic minim al erorilor pătratice. In cazul de fata index 10 corespunzător grupei 4.

Analiza comparativă a performanțelor

Procedura de testare:

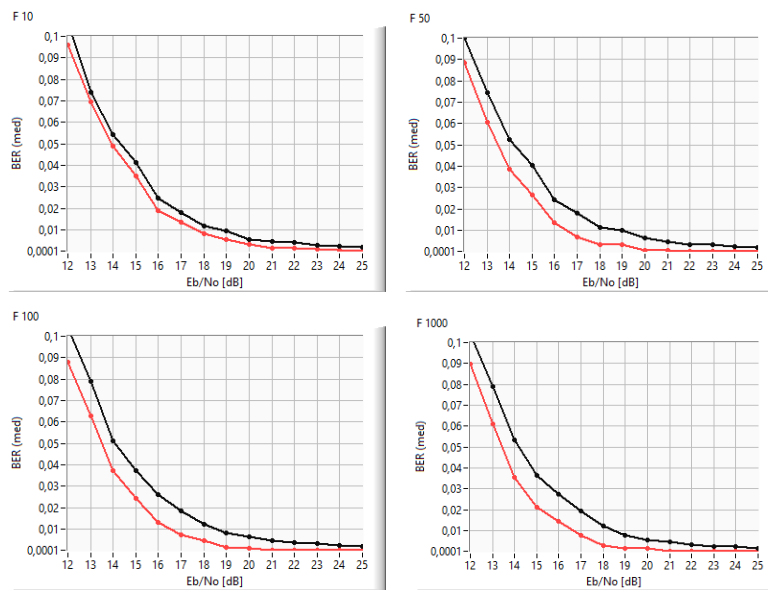
- biți transmiși de la generator către receptor pentru calculul BER: 25000 (mediere pe 100 secvențe de transmitere)
- calcul BER: se compara biții recepționați cu biții transmiși si se raportează BER ca fiind raportul dintre numărul de biți recepționați greșit si numărul total de biți
- tipul de mapare 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)

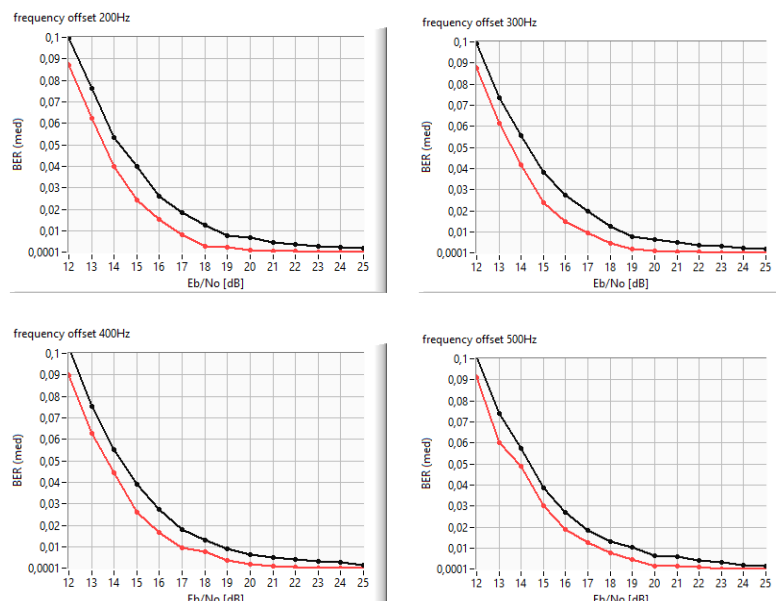
E_b/N_0 (raportul densitate spectrală a puterii pe bit / zgomot) este o măsură a raportului semnal-zgomot utilizată atunci când se compară performanța ratei de eroare de biți (BER) a diferitelor scheme de modulație digitală fără a ține seama de lățimea de bandă.

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

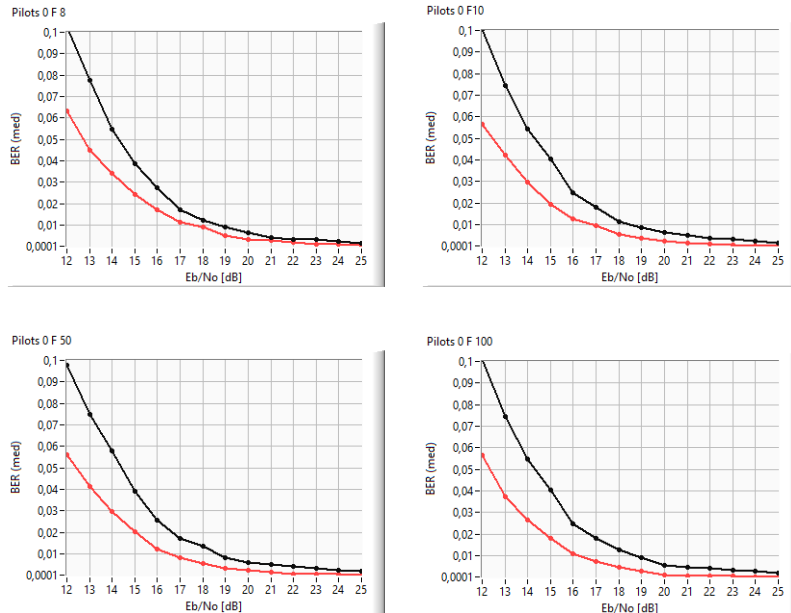


În toate cele 4 cazuri se observă o imunitate crescută la zgomot gaussian a decodurului dezvoltat prin proiect.

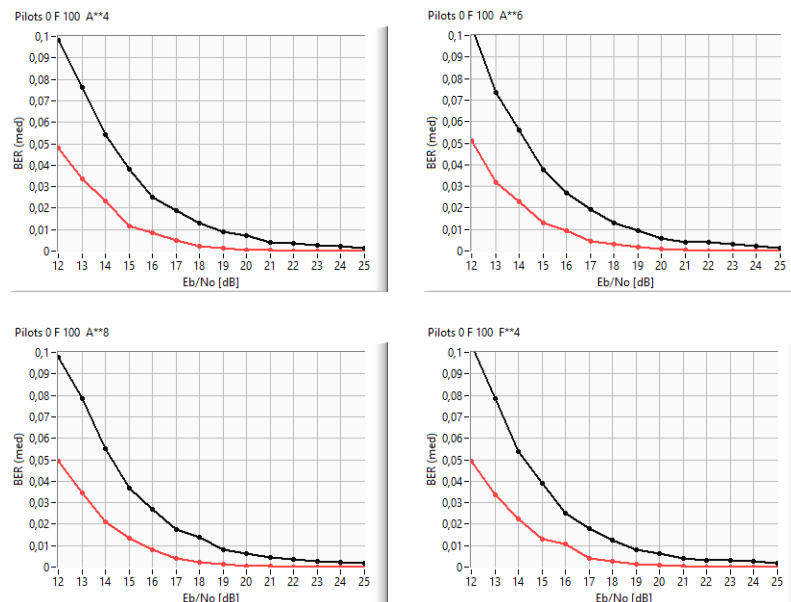
Se prezintă în continuare rezultatele comparative între decodurul clasic și decodurul dezvoltat pentru F=100 și valori diferite ale parametrului frequency offset.



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

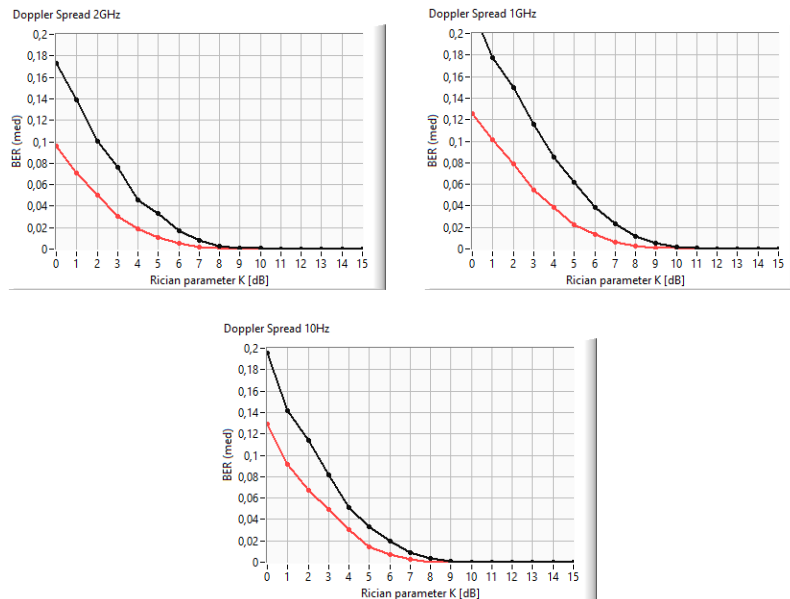


În figurile următoare este prezentată influența ponderilor erorilor date de amplitudine și faza în calculul erorii minime. Nu s-au utilizat informații provenite de la piloți iar parametrul F a avut valoarea 100. Graficele sunt realizate pentru eroare de amplitudine la puterile 4, 6 și 8, eroarea de fază fiind la puterea 2 și eroarea de fază la puterea 4 pentru eroare de amplitudine la puterea 2.

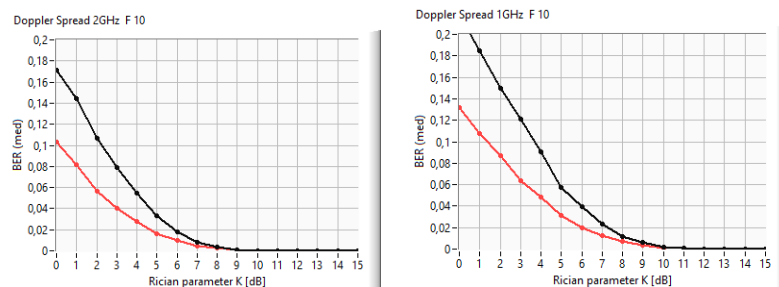


Testarea imunității pentru un canal cu Fading

In figurile următoare este prezentată evoluția comparativă a BER pentru cele două demodulatoare pentru un canal cu pierderi. Parametrul F a avut valoarea 100 iar parametrul Rician a variat între 0 și 15 dB. Graficele au fost trasate pentru doppler spread 2GHz, 1GHz și 10Hz.



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

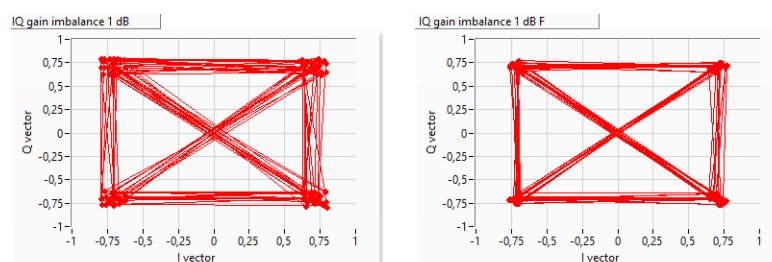


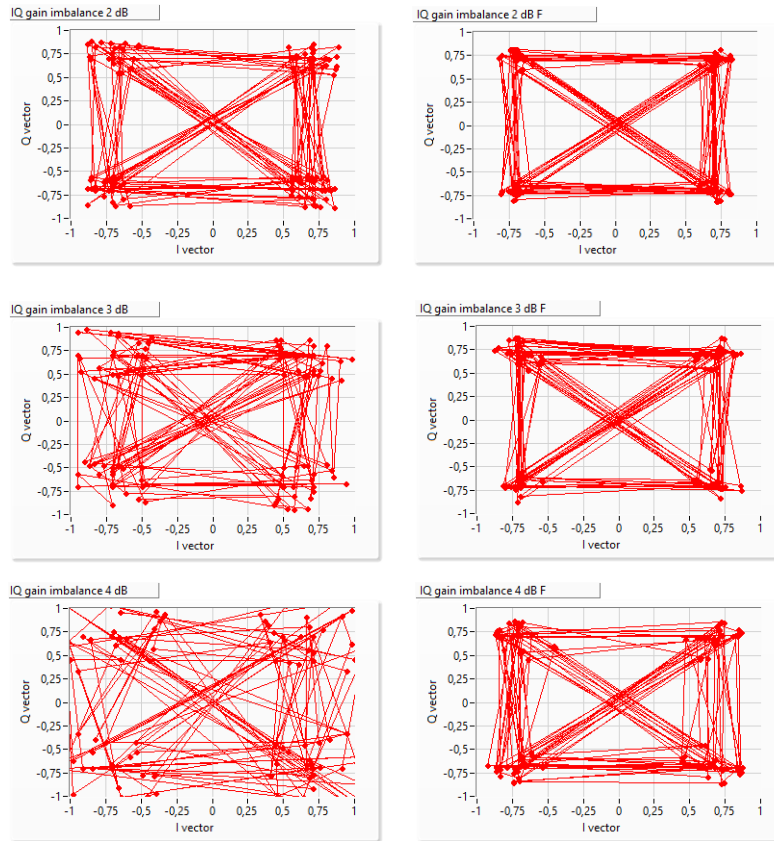
Pentru o serie de perturbații nu se obține eroare în transmisie, BER fiind zero, în condiții reale ale canalelor de transmisie. Aceste perturbații pot însă contribui la apariția unui BER diferit de zero când sunt sumate cu alte perturbații.

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.

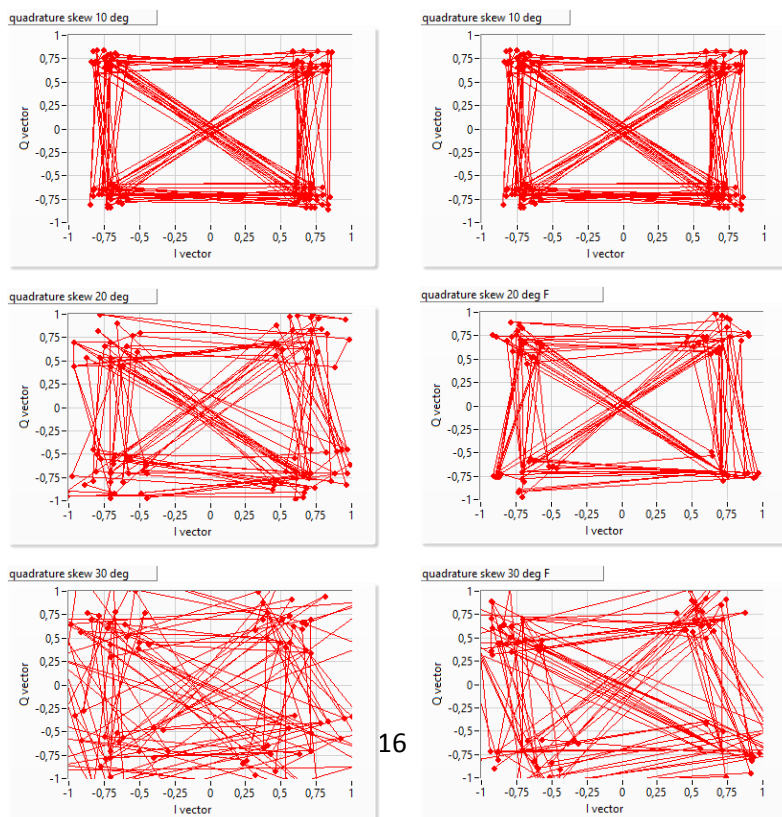




Testarea imunității pentru Quadrature skew

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 decodului 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.

Considerăm că rezultatele raportate sunt în deplină concordanță cu cele asumate în propunerea de proiect.

3. Prezentarea nivelului de maturitate tehnologică (TRL) propus / realizat

În propunerea de proiect a fost propusă trecerea de la nivelul de maturitate tehnologică TRL2 la TRL4.

Considerăm că prin activitățile realizate și rezultatele obținute, acest nivel a fost atins deoarece:

- a) Rezultatul anterior, de la care s-a plecat, l-a constituit un concept privind posibilitatea utilizării unui nou algoritm de supraesantionare, prin utilizarea Transformatei Fourier Discrete cu indice fracționar.
- b) Într-o primă etapă au fost dezvoltate și validate componentele individuale ale unui decodor OFDM care implementează noul algoritm de supraesantionare (TRL2 -> TRL3);
- c) Într-o a doua etapă au fost integrate componentele individuale, realizat modelul experimental și validat, în condiții de laborator.

Rezultatele obținute confirmă performanțele superioare ale acestei tehnologii.

4. Modul de atribuire și exploatare de către parteneri a drepturilor de proprietate

În conformitate cu Acordul ferm de colaborare, semnat de către parteneri la momentul contractării proiectului, au fost stabilite următoarele:

4.1. Proprietatea intelectuală:

Rezultatele cercetărilor obținute pe baza derulării contractului aparțin Contractorului, partenerilor acestuia în cadrul proiectului și/sau angajaților acestora, în funcție de implicarea în obținerea acestor rezultate, conform legislației în vigoare referitoare la titlurile de proprietate industrială și drepturile de autor. Rezultatele cercetărilor sunt administrate de proprietarii acestora, cu toate drepturile care decurg din calitatea de proprietar.

4.2. Drepturile de difuzare a rezultatelor:

- 4.2.1. Difuzarea rezultatelor obținute în cadrul proiectului se va face de către autorii implicați în obținerea acestora, după consultarea Coordonatorului de proiect.

4.2.2. Orice publicație sau orice rezultat apărut și raportat în urma activităților finanțate prin proiectul de cercetare, va avea menționat numele finanțatorului și numărul contractului de finanțare.

5. Impactul rezultatelor obținute

Rezultatele obținute în cele doar 17 luni de derulare a proiectului au fost diseminate prin intermediul a patru lucrări științifice: o lucrare în revista *IEEE Access*, două lucrări în volumul conferinței *2018 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering* (în curs de indexare wos), și una în volumul conferinței *12th IEEE International Conference on Communications (COMM)*.

În urma discuțiilor cu parteneri economici s-a stabilit posibilitatea colaborării în cadrul unui proiect integrat cu titlul *Sistem alternativ și independent de comunicații pentru situații de calamitate, bazat pe legături adaptive între dispozitive mobile*.

Proiectul, transmis Agenției de dezvoltare regională Nord-Est a fost inclus în portofoliul de proiecte al acesteia, urmând a fi depus pentru finanțare în cadrul POR AP1 Transfer Tehnologic, Prioritatea 1.1., Operațiunea 1.2. Specializare inteligentă (proiecte integrat).

6. Prezentare succintă

Covârșitoarea majoritate a tehnologiilor wireless utilizate în prezent folosesc metoda OFDM pentru modularea datelor transmise. Deși foarte răspândită, metoda poate fi afectată, în anumite condiții, de erori care apar în transmiterea datelor.

Pentru diminuarea acestora, în cadrul proiectului a fost dezvoltat un nou algoritm de decodare, rezultatele testelor realizate în condiții de laborator confirmând dezvoltarea teoretică realizată anterior.

