

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2022 00053

(22) Data de depozit: 04/02/2022

(41) Data publicării cererii:  
30/08/2023 BOPI nr. 8/2023

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE  
ASACHI" DIN IAȘI, STR. PROF. DR. DOC.  
DIMITRIE MANGERON NR. 67, IAȘI, IS, RO

(72) Inventatori:  
• DONCIU CODRIN, STR.VALEA ADÂNCĂ  
NR.9, IAȘI, IS, RO

(54) METODĂ DE DECODIFICARE A SIMBOLURILOR OFDM  
BAZATĂ PE SUPRAEȘANTIONARE ÎN DOMENIUL  
FRECVENȚĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de decodificare a simbolurilor de multiplexare cu divizare în frecvență ortogonală (OFDM) destinată reducerii erorilor de demodulare cauzate de interferența între purtătoare (ICI) și interferența între simboluri (ISI). Metoda conform invenției cuprinde următoarele etape: o etapă (1) de supraeșantionare realizată pe o transformare Fourier rapidă (FFT) cu argument neîntreg, o etapă (2) de calcul al erorilor minime pătratice ale punctelor obținute prin eșantionare, față de generare, și o etapă (3) de selecție a punctelor bazată pe minimul erorilor minime pătratice.

Revendicări: 1  
Figuri: 2

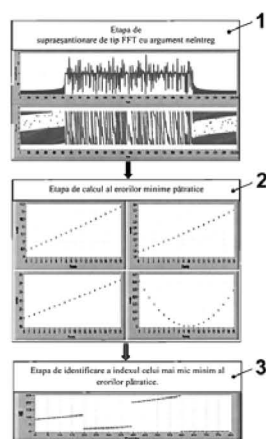


Fig. 2



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
CERERE DE BREVET DE INVENȚIE
Nr. a 2022 000 53
Data depozit 04-02-2022

## METODA DE DECODIFICARE A SIMBOLURILOR OFDM BAZATA PE SUPRAESANTIONARE IN DOMENIUL FRECVENTA

Invenția se referă la o metoda de decodificare a simbolurilor Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) destinata reducerii erorilor de demodulare Inter Carrier Interference (ICI) si Inter-Symbol Interference (ISI).

OFDM este o metoda de modulare, cu performante si beneficii net superioare metodelor tradiționale si care asigura o viteza ridicata de transfer a datelor. OFDM a fost adoptata ca metoda de modulație pentru toate tehnologiile wireless utilizate in zilele noastre, fiind si cea mai eficienta metoda de utilizare a unei benzi spectrale.

Modularea si demodularea simbolurilor se realizează utilizând Inverse Fast Fourier Transformation (IFFT) respectiv Fast Fourier Transformation (FFT).

Se prezintă in continuare mecanismul de modulare a unui simbol OFDM (fig. 1). Șirul de biți (1), care urmează a fi transmis, este impartit in subșiruri paralele (2). Numărul subșirurilor paralele este egal cu cel al subpurtatoarelor. Biții fiecărui subșir sunt grupați in 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 subpurtatoarelor (faza 45, 135, 225 si 315) corespunzătoare stărilor unei secvențe de 2 biți (00, 01, 11, 10). Corespondenta dintre starea grupului de 2 biți si faza alocata se realizează prin mapare (3). In urma mapării, fiecărui grup de biți ii vor corespunde un număr complex  $I+jQ$ . Coeficienți I si Q sunt utilizați in modularea IQ (4), astfel încât, după modulare, se va obține pentru fiecare grup de 2 biți ai unui subșir, o subpurtatoare cu faza corespunzătoare stării biților si cu frecventa proporționala cu numărul subșirului din care provin biții. Subpurtatoarea se obține ca suma  $I*\cos() + Q*\sin()$ . Se utilizează modularea IQ din considerente constructive (nu necesita controlarea fazei la generarea subpurtatoarelor). Toate subpurtatoarele obținute se sumează (5) si se obține astfel un simbol OFDM (un semnal de perioada T compus dintr-o multitudine de sinusoida). Simbolurile se transmit serial, unul după altul, către receptor.

Semnalul original emis de către emițător traversează direct spațiul către receptor. Existenta obiectelor aflate in mediul de propagare face sa apară reflexii ale semnalului original, reflexii care ajung si ele la receptor, influențând originalul. Fiecare semnal reflectat are o întârziere cauzată de drumul suplimentar parcurs, regăsită in atenuarea amplitudinii si schimbarea de fază. Reflexiile semnalului unui simbol poate influenta simbolul însuși, cauzând Intrasymbol interference sau poate influenta simbolul următor cauzând Inter-Symbol Interference (ISI).

O metoda robusta utilizata in reducerea ISI o reprezintă supraesantionarea in frecventa si are ca scop obținerea unui număr de puncte in frecventa mai mare decât numărul de puncte

al secvenței în timp, astfel încât unul dintre punctele din frecvență să se apropie cât mai mult de valoarea transmisă de emițător.

Dacă secvența în timp este formată din  $N$  puncte, atunci prin supraesantionare se obțin  $M$  puncte ( $M > N$ ). Cele  $M$  puncte pot fi obținute în  $MN$  operații prin Transformata Z [1], în  $(M+N)\log(M+N)$  operații prin Chirp Z [2] sau în  $M\log M$  operații dacă secvența în timp se extinde cu  $(M-N)$  zerouri și se calculează transformata FFT.

Metoda de supraesantionare în frecvență utilizată în cadrul demodulatoarelor OFDM o reprezintă adăugarea de  $(M-N)$  zerouri la secvența din domeniul timp și aplicarea FFT pe  $M$  puncte în radiofrecvență [3-6] sau în transmisiile în domeniul optic [7].

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este reducerea erorilor de tip Inter Carrier Interference (ICI) și Inter-Symbol Interference (ISI) prin supraesantionare în frecvență cu o creștere minimă de operații, utilizând FFT cu argument neîntreg [8]. Utilizarea supraesantionării în frecvență pe baza FFT cu argument neîntreg permite 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.

Metoda de decodificare bazată pe supraesantionare, conform invenției este alcătuită din etapa de supraesantionare de tip FFT cu argument neîntreg, etapa de calcul al erorilor minime pătratice și etapa de identificare a indexului celui mai mic minim al erorilor pătratice.

În urma aplicării rutinei cu argument neîntreg pentru setul de  $N$  de puncte recepționate se vor obține  $M$  puncte în domeniul frecvenței, fiecărui punct din cele  $N$  puncte din domeniul timp corespunzându-i un set de  $R$  puncte în frecvență. 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  $RN$ . 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  $R$  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 se realizează pe baza indicelui minimului unui set de erori minime pătratice. Astfel, din cadrul fiecărui set de  $R$  puncte din domeniul frecvență corespunzătoare unui punct din domeniul timp, se extrage un singur punct (complex), obținându-se în final  $N$  puncte complexe.

Invenția poate fi exploatată industrial pentru îmbunătățirea eficienței decodifecatoarelor OFDM existente pe piață.

Metoda de decodificare bazată pe supraesantionare conform invenției prezintă următoarele avantaje: scăderea influenței perturbațiilor de tip Inter Carrier Interference și

Inter-Symbol Interference în condițiile reducerii volumului de calcul. Mai mult, metoda nu utilizează rutina de corecție a offsetului de frecvență și nici piloți pentru egalizarea canalului.

Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 2, care reprezintă:

- fig. 2, diagrama de decodificare bazată pe supraesantionare

Structural, conform figurii 2, metoda de demodulare cuprinde etapa de supraesantionare de tip FFT cu argument neîntreg 1, etapa de calcul al erorilor minime pătratice 2 și etapa de identificare a indexului celui mai mic minim al erorilor pătratice 3.

Pentru un decodificator clasic cu FFT, pentru 256 puncte în domeniul timp se obțin 256 puncte complexe în domeniul frecvență.

În exemplul de decodificare considerăm ca multiplicarea numărului de puncte (supraesantionarea) se realizează cu  $R=100$  și astfel se vor obține  $M=25600$  puncte în frecvență, câte un set de 100 de puncte în frecvență alocate unui singur punct din domeniul timp. Pentru a se obține din cele 25600 puncte în frecvență doar cele 256 care corespund punctelor în domeniul timp se va realiza o selecție astfel încât din fiecare set de 100 de puncte să se extragă unul singur.

Exemplul prezintă o mapare 4QAM care permite obținerea unei singure valori de amplitudine și patru valori ale fazelor (patru stări).

Pentru fiecare punct complex ce urmează a fi selectat se analizează secvența de  $R=100$  puncte corespondente acestuia. Astfel, pe baza erorii minime pătratice, se compară valorile celor 100 de puncte cu valorile fazelor transmise (patru valori de fază cunoscute la generare).

Din cadrul celor patru erori minime pătratice obținute se alege punctul care prezintă cel mai mic minim al erorilor pătratice, iar faza acestuia reprezintă valoarea de decodificare.

**BIBLIOGRAFIE**

- [1] Eliahu I. Jury, "Analysis and synthesis of sampled-data control systems", Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Part I: Communication and Electronics, Volume: 73, Issue: 4, pp: 332 - 346, 1954
- [2] Lawrence R. Rabiner; Ronald W. Schafer; Charles M. Rader, "The chirp z-transform algorithm and its application", The Bell System Technical Journal, Volume: 48, Issue: 5: pp: 1249 - 1292, 1969
- [3] Kadir Turk, Throughput Evaluation of Oversampled Receiver: An Example of WiMAX System, Wireless Personal Communications, Volume 79, Issue 1, pp 279-292, 2014
- [4] Jianping Zheng; Yue Sun "Two-Way Amplify-Forward Relaying Using Frequency-Domain Oversampling on Frequency-Selective Fading Channels", Vehicular Technology, IEEE Transactions on, On page(s): 1982 - 1987 Volume: 63, Issue: 4, May 2014
- [5] Yanxin Yan; Maode Ma "Novel Frequency-Domain Oversampling Receiver for CP MC-CDMA Systems", Communications Letters, IEEE, On page(s): 661 - 664 Volume: 19, Issue: 4, April 2015
- [6] Balevi, E.; Yilmaz, A.O. "Analysis of Frequency Domain Oversampled MMSE SC-FDE", Communications Letters, IEEE, On page(s): 232 - 235 Volume: 20, Issue: 2, Feb. 2016
- [7] Chang-Hun Kim, Sang-Min Jung, Sun-Young Jung, Soo-Min Kang, Sang-Kook Han, Inter-band interference suppression in multi-band OFDM-PON uplink transmission using window shaping, Optical Fiber Technology  
Volume 27, Pages 35-40, January 2016
- [8] C. Donciu, M. Temneanu, An alternative method to zero-padded DFT, MEASUREMENT Volume: 70, pp.14-20, Jun 2015

## REVENDICĂRI

Metoda de decodificare bazată pe supraeșantionare, **caracterizat prin aceea că** utilizează o etapă de supraeșantionare realizată pe un FFT cu argument neîntreg (1), o etapă de calcul a erorilor minime pătratice față de generare, ale punctelor obținute din supraeșantionare (2) și o etapă de selectare a punctelor, bazată pe minimumul erorilor minime pătratice (3).

DESENE

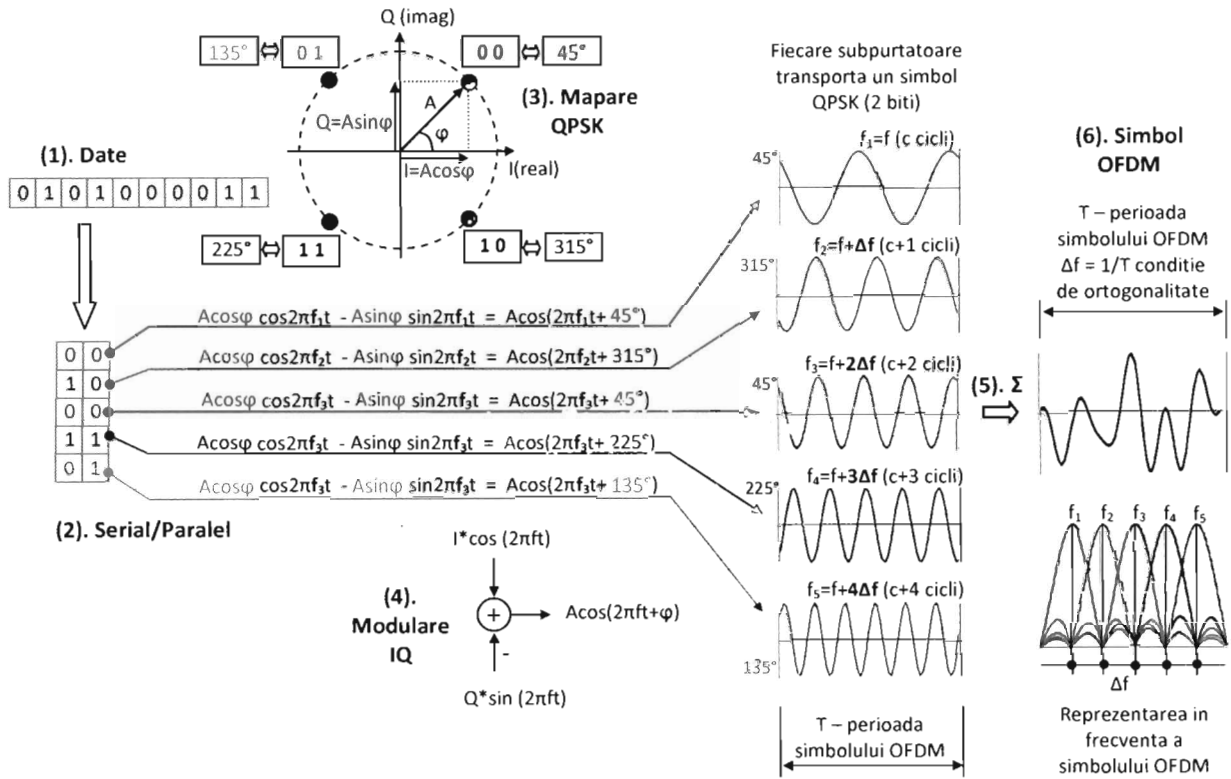


Fig. 1

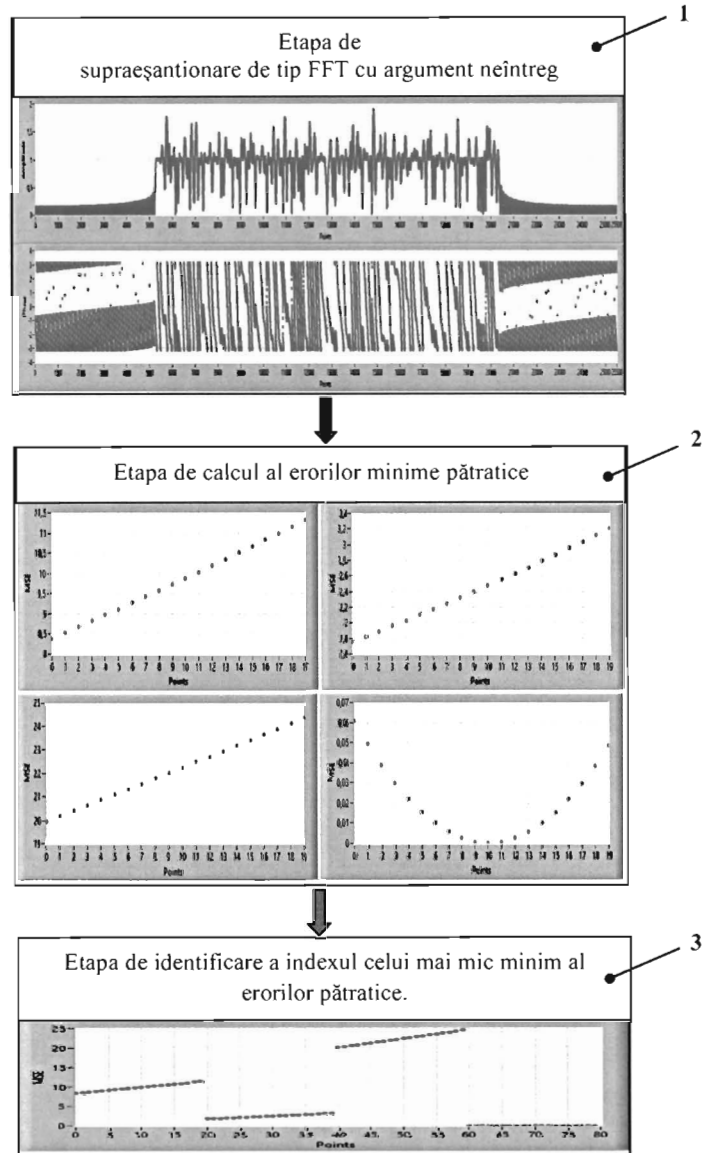


Fig. 2