



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2017 00993

(22) Data de depozit: 28/11/2017

(41) Data publicării cererii:
30/05/2019 BOPI nr. 5/2019

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS"
GALAȚI, STR. DOMNEASCĂ NR. 47,
GALAȚI, GL, RO

(72) Inventatori:
• AIORDĂCHIOAIE DOREL, STR.FRUNZEI
NR.25, BL.F7, SC.1, ET.5, AP.18, GALAȚI,
GL, RO

(54) METODĂ PENTRU DETECȚIA ȘI FILTRAREA
COMPONENTELOR DE INTERFERENȚĂ
DIN TRANSFORMATĂ TIMP-FRECVENȚĂ WIGNER-VILLE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă pentru detecția și filtrarea termenilor de interferență din reprezentarea timp-frecvență Wigner-Ville, cu aplicabilitate în analiza semnalelor prin intermediul transformărilor timp-frecvență. Metoda conform invenției este de tip iterativ, numărul de iterații depinzând de numărul de componente sinusoidale din semnalul analizat, și furnizează o imagine timp-frecvență fără termenii de interferență specifici transformării Wigner-Ville, plecând de la ideea de bază că termenii de interferență apar și sunt plasați geometric între doi termeni reali, iar înlăturarea sau micșorarea unuia dintre termenii reali conduce automat

la diminuarea termenilor de interferență care pot fi astfel identificați. Operațiile de bază implicate sunt: calculul transformatei Wigner-Ville, calculul entropiei Renyi, identificarea termenilor reali și extragerea trăsăturilor acestora, filtrarea trece-bandă a semnalului, pe frecvența componentei termenului real, memorarea și compararea imaginii asociate transformărilor Wigner-Ville cu imaginea de la iterația anterioară.

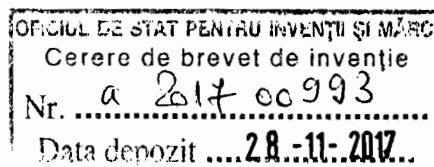
Revendicări: 3
Figuri: 7



57

Metodă pentru detecția și filtrarea componentelor de interferență din transformata timp-frecvență Wigner-Ville

Descrierea invenției



1. Titlul invenției

Metodă pentru detecția și filtrarea componentelor de interferență din transformata timp-frecvență Wigner-Ville.

2. Domeniul tehnic la care se referă invenția

Invenția se referă la o metodă de detecție și filtrare a componentelor de tip interferență din reprezentarea timp-frecvență Wigner-Ville, cu avantaje în toate aplicațiile ce folosesc reprezentarea timp-frecvență în analiza semnalelor sau proceselor.

3. Stadiul tehnicii în domeniu

O abordare utilă și cu rezultate importante în domeniul detecției și diagnozei proceselor, în general, se bazează pe paradigma prelucrării semnalelor care provin de la o mașină sau utilaj monitorizat, cel mai frecvent semnale de vibrație, acustice sau ultracustice.

Siguranța, disponibilitatea, eficiența și performanțele unor mașini și utilaje industriale, sau componente electromecanice ale acestora, reprezintă preocupări majore în industrie. Monitorizarea și diagnoza producerii unor defecțiuni este o practică greoaie, care necesită un efort mare. În acest scop au fost propuse diferite metode de extragere a caracteristicilor semnalelor de vibrație, în special pentru mașinile rotative sau componente ale acestora. Problema detecției și diagnozei producerii unor defecțiuni implică următoarele faze: achiziția datelor, extragerea caracteristicilor, detecția producerii unei defecțiuni și identificarea acesteia (diagnoza).

Tehnicile de extragere efectivă a caracteristicilor sunt foarte critice în rezolvarea acestei probleme. Semnalele de vibrație colectate de senzori sunt afectate de zgomot și necesită a fi prelucrate înaintea utilizării pentru detecția și diagnoza producerii unei

Solicitant – Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați,
RECTOR,
Prof.dr.ing. Iliaș Gabriel BÎRSAN



Inventator,
Prof.dr.ing. Dorel A. [Signature]
1

eventuale defecțiuni a mașinii, sau a unor componente ale acesteia. Caracteristicile semnalului (adesea denumite trăsături sau "amprente") nu pot fi detectate fără utilizarea unor tehnici specifice.

Tehnicile de extragere a caracteristicilor pot crește raportul semnal/zgomot, fie localiza anumite componente în semnal, în scopul asistării deciziei privind producerea unei schimbări. În general, tehnicile de analiză a vibrațiilor aplicate pentru detecție și diagnoză acoperă o arie extinsă, de la tehnici statistice la tehnici bazate pe model și includ diferiți algoritmi de prelucrare a semnalelor pentru extragerea informației necesare în scop de detecție și diagnoza.

Importanța problemei de analiză a semnalelor în scopuri de detecție și diagnoză a proceselor generatoare este considerată și prezentată în diverse cărți și studii, cum sunt – de exemplu [1] și [2]. Semnalele prelucrate pot proveni de la vibrații sau pot fi semnale electrice asociate sau nu unor mărimi fizice din echipamentele electromecanice, de exemplu curent, tensiune sau frecvență. Acestea sunt semnale de joasă frecvență, sub 5 kHz, în general nestaționare, și cu trăsături specifice în domeniile timp și frecvență.

Propunerea de față utilizează reprezentarea timp-frecvență a semnalelor analizate, considerată ca un obiect-imagine, cu elemente de tip pixel. Referințele [3] și [4] prezintă câteva aspecte generale iar [5] prezintă mai multe detalii și aplicații.

3.1. Transformata Wigner-Ville

Una din transformările timp-frecvență cele mai simple, dar și eficiente, este transformata Wigner-Ville. Transformata este neliniară, astfel încât două componente la momente de timp și/sau frecvență diferite pot să interfere, iar imaginea timp-frecvență conține și imagini/elemente false.

Dacă $x(t)$ este un semnal continuu, posibil complex, distribuția (transformata) Wigner a semnalului $x(t)$ este definită (în domeniul timp) cu expresia (1), [6], unde „*” reprezintă operatorul de conjugare complexă.

$$W_x(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) \cdot x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \cdot e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (1)$$

Dacă $X(f)$ este transformata Fourier a semnalului $x(t)$, o definiție echivalentă (în domeniul frecvență) este

$$W_X(f, t) = \int_{-\infty}^{\infty} X\left(f + \frac{\eta}{2}\right) \cdot X^*\left(f - \frac{\eta}{2}\right) \cdot e^{j2\pi t\eta} d\eta \quad (2)$$

Solicitant – Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați,

Prof.dr.ing. Adrian Gabriel BIRSAN



Inventator,

Prof.dr.ing. Dorel Aiora

Pentru cazul în care $x(t)$ este un semnal analitic, distribuția Wigner, definită mai sus, se numește distribuție Wigner-Ville, [6]. Această distribuție satisface un număr mare de proprietăți dorite, așa cum se descrie în literatura de specialitate [7], [8] sau [9].

Există însă și o serie de dezavantaje pentru semnalele cu mai multe componente, dintre care - cel mai important - este dat de apariția termenilor de interferență (*cross-terms*, în limba engleză), termeni falși, care nu există în structura originală, reală, a semnalului analizat. În funcție de semnalul analizat, s-au propus diverse metode cantitative de anulare a acestor termeni, însă cu dezavantajul pierderii rezoluției pentru termenii reali ai semnalului. Găsirea celei mai bune reprezentări pentru semnalele multi-componentă, în general nestaționare, este o problemă complexă și care preocupă mulți cercetători, cu exemple relevante în lucrările [10] până la [17]. O primă analiza a metodei propuse și câteva rezultate preliminare au fost acceptate și publicate în [18].

3.2. Problema termenilor interferență

Distribuția Wigner-Ville (WVD) nu poate indica existența certă a tuturor componentelor, la un anumit moment de timp și frecvență, sau să reprezinte cauzalitatea adevărată între secțiunile semnelor analizate.

Termenii de interferență apar în orice reprezentare timp-frecvență de tip pătratică. Termenii de interferență se pot suprapune peste termenii/componentele reali/e ale semnalelor și, astfel, pot genera erori și dificultăți în interpretarea corectă a structurii semnalelor analizate.

Termenii falși, de interferență, sunt reprezentați în imaginea timp-frecvență prin două trăsături specifice, care pot fi folosite în detecția automată și clasificare:

- 1). Conțin a serie de elipse paralele;
- 2). Diagonalele principale sunt paralele pe segmentul ce unește centrele celor mai aproape două componente reale.

Aceste trăsături ar putea fi utilizate în identificarea, cel puțin calitativă, a termenilor de interferență în reprezentarea cu imagini timp-frecvență.

Termenii falși, de tip interferență, poartă însă informație, chiar dacă afectează interpretarea corectă a imaginii timp-frecvență, în sensul că termenii de interferență pot conține informații despre faza semnalului analizat, [1].

Transformata WV a unui semnal, de forma unei sume cu M componente, conform [10], este

$$W_x(t, \omega) = \sum_{i=1}^M W_{x_i}(t, \omega) + 2 \sum_{k=1}^{M-1} \sum_{l=k+1}^M \operatorname{Re}\{W_{x_k x_l}(t, \omega)\} \quad (3)$$

Solicitant – Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați,

Prof.dr.ing. Iulian Gabriel BÎRSAN



Inventator,

Prof.dr.ing. Dorel Niordoban

ceea ce arată că transformata WV a unui semnal $x(t)$ are, pe lângă cele M componente reale, și un număr de termeni/componente de interferență (*cross-terms*), câte un termen pentru fiecare pereche de componente/termeni reali.

Termenii perturbatori, de interferență, sunt detectați și filtrați prin diverse tehnici de pre-procesare a semnalelor bazate pe:

- 1). Analiza Fourier generalizată, de exemplu Fourier-Bessel. Lucrarea [10] arată că termenii indesezirabili/nedoriti din WVD a unui semnal multicomponentă pot fi înlăturați printr-o dezvoltare în serie Fourier-Bessel, urmată de o prelucrare individuală a componentelor/elementelor seriei WVD. Metoda presupune separarea clară a componentelor în domeniul frecvență;
- 2). Filtrare cu arie de filtre (*filter bank*). Un astfel de filtru descompune componentele semnalului într-un număr finit de componente, înainte de calculul WVD, [11].
- 3). Prelucrarea morfologică a imaginilor. Un exemplu se prezintă în [12], prin îndepărtarea termenilor de interferență, sau [13], prin prelucrarea blocurilor imagine asociate.
- 4). Ponderarea nucleelor transformărilor timp-frecvență (*kernels smoothing*). De exemplu, lucrările [14], [15], și [16] prelucrează nucleul transformării, prin adaptarea sau selecția unui tip de nucleu pentru fiecare semnal analizat.

Toate metodele prezentate realizează un compromis între eroarea de estimare a termenilor reali și gradul de atenuare a termenilor de interferență. Mai mult, metodele sunt adaptate la tipul de semnal prelucrat. Se folosesc diverse criterii cantitative, cum sunt – de exemplu - în [16] sau [17]. Ultima utilizează rezoluția instantanee normalizată, cu restricția că semnalul trebuie să aibă doar două componente.

3.3. Calculul entropiei Renyi

Utilizarea entropiei Renyi permite estimarea complexității unui semnal, prin determinarea numărului de componente temporale. Cu cât numărul de componente deterministe este mai mare, cu atât entropia este mai mică.

Punctul cheie este definirea și asocierea transformatei timp-frecvență cu funcția densitate de probabilitate bi-dimensională, la calculul entropiei asociate transformatei timp-frecvență. Calcularea pe linii și pe coloane a entropiei Renyi permite identificarea coordonatelor termenilor determinați (auto-termenilor).

Relațiile analitice de bază sunt prezentate în continuare. Pentru un semnal cu funcție densitate de probabilitate $f(x)$ entropia Renyi este

Solicitant – Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați,

Prof.dr.ing. Julian Gabriel BIRSAN



Inventator,

Prof.dr.ing. Dorel Albotă

$$R_x^\alpha = \frac{1}{1-\alpha} \log \left[\int_{-\infty}^{\infty} f^\alpha(x) dx \right] \quad (4)$$

unde α este ordinul informației sau al entropiei Renyi. Entropia Renyi de ordinul trei, aplicată unei distribuții timp-frecvență $c_x(t,f)$ este

$$R_C^3 = -\frac{1}{2} \log \left[\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} c_x^3(t,f) dt df \right] \quad (5)$$

cu

$$c_x(t,f) = C_x(t,f) / \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} C_x(t,f) dt df \quad (6)$$

fiind funcția densitate de probabilitate echivalentă/asociată transformării timp-frecvență $C_x(t,f)$. Exemple și mai multe rezultate relevante sunt disponibile în lucrările [19] și [20].

4. Problema tehnică rezolvată de invenție

Transformata Wigner-Ville este dorită în multe aplicații de prelucrare a semnalelor, din diverse domenii, întrucât are multe proprietăți matematice utile în domeniul prelucrării semnalelor și valorile transformatei sunt numere reale.

Problema tehnică rezolvată în cadrul invenției se referă la detecția și filtrarea termenilor de interferență din transformata Wigner-Ville, pentru cazul semnalelor nestaționare cu mai multe componente.

Soluțiile disponibile și folosite până în prezent afectează rezoluția formei finale a transformatei, în sensul că parametrii termenilor identificați au erori și forma trăsăturilor 3D sau imagine (2D) ale auto-termenilor este afectată.

Problema este importantă pentru că termenii de tip interferență limitează folosirea transformatei Wigner-Ville în diverse aplicații practice.

Invenția propune o metodă automată pentru rezolvarea acestei probleme, bazată pe prelucrarea iterativă a semnalului analizat.

La fiecare iterație se identifică un termen real (auto-termen), prin estimarea frecvenței acestuia. Prin filtrarea termenului identificat se poate identifica componenta de tip interferență. Identificarea presupune observarea variației amplitudinii termenului de

Solicitant – Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați,

Prof.dr.ing. Julian Gaboriel BERSAN



Inventator,

Prof.dr.ing. Dorel A. Iordănescu

interferență, la modificarea amplitudinii unuia din cei doi termeni reali, ce susțin/generează termenul de interferență analizat. Trasătura de “automat” a metodei se referă la faptul că identificarea și filtrarea termenilor proprii (și apoi identificarea termenilor de interferență) din transformata Wigner-Ville se fac fără intervenția utilizatorului.

5. Prezentarea invenției

Prezentarea invenției se va realiza sub forma descrierii principalelor module/blocuri din structura metodei și a funcțiilor realizate de acestea. Se prezintă algoritmul de implementare a metodei, scris în pseudocod. Se vor prezenta și rezultate obținute prin simulare pe calculator, corespunzătoare a două cazuri.

Borderou figuri

Figura 1: Structura de bază a metodei de detecție și filtrare

Figura 2 – Semnale de testare

Figura 3- Reprezentarea timp-frecvență a semnalelor de test

Figura 4 - Evoluția reprezentării imaginii timp-frecvență pentru cazul #1

Figura 5 - Evoluția reprezentării imaginii timp-frecvență pentru cazul #2

Figura 6 – Rezultatele finale pentru cazurile #1 și #2

Figura 7 – Comparație între forma inițială și finală a prelucrării, pentru cazurile #1 și #2

5.1. Descrierea structurii metodei

Structura de bază a metodei este prezentată în Figura 1. Semnalul de analizat este, de exemplu, o suma de componente sinusoidale modulate în impulsuri, mai mult sau mai puțin afectat aditiv de zgomot alb Gaussian:

Solicitant – Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați,

Prof. dr. ing. Iulian Gabriel BÎRSAN



Inventator,

Prof.dr.ing. Dorinel Albuhoiaie

$$x(t) = \sum_{j=1}^n x_j(t) + n(t) \quad (7)$$

Blocurile de bază sunt:

1). FTB – filtru trece bandă programabil, în ceea ce privește frecvența centrală (f_{0i}), banda de trecere (B_{0i}) și ordinul filtrului (n_{0i}). Acești parametri definesc vectorul parametrilor

$$P_i = [f_{0i} \quad B_{0i} \quad n_{0i}] \quad (8)$$

Rolul filtrului trece bandă este de a filtra componenta de frecvență f_{0i} cu banda B_{0i} din semnalul $x(t)$. Ca urmare, la ieșirea filtrului se obține semnalul

$$y(t) \cong x(t) \setminus x_i(t) \cong x(t) - x_i(t) \quad (9)$$

2). WVD – bloc pentru calculul distribuției Wigner-Ville a semnalului $y(t)$. La ieșirea acestui bloc se obține o imagine **ITF**, de dimensiune $N \times N = 1024 \times 1024$, în urma unui proces de discretizare.

3). RH – bloc pentru calculul entropiei Renyi, pe coloane (**RHC**) și pe linii (**RHL**).

4). FE – extractor de trasături. Se determină coordonatele auto-termenilor, prin determinarea minimelor componentelor reprezentate în imaginea **ITF**. Se selectează auto-termenul cel mai din stânga (sau din dreapta) axei timpului, axa Ox .

5). FD – bloc pentru proiectare filtru, în ceea ce privește frecvența centrală, banda de frecvență și ordinul acestuia, în vederea filtrării componentei „i”, determinată la pasul anterior. Rezultă vectorul parametrilor necesar pentru filtrarea cu FTB.

5.2. Descrierea algoritmului de procesare/implementare

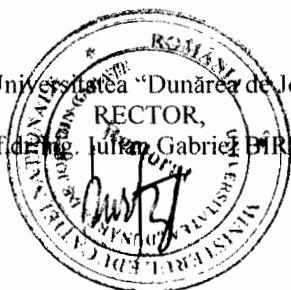
Algoritmul de implementare a metodei este descris în continuare, sub forma de pseudocod, prin prezentarea pașilor de bază.

Algoritm DFTX (Deteție și filtrare termeni de interferență)

#1: Citește semnalul $x(t)$, discretizează și memorează;

Solicitant – Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați,

Prof.dr.ing. Iulian Gabriel BIRSAN



Inventator

Prof.dr.ing. Dorel Aiordăchioaie

- #2: Calculează transformata WV, generează și memorează imaginea asociată $\mathbf{ITF}_{N \times N}$;
- #3: Calculează entropiile Renyi, pe linii și pe coloane, RHL și RHC ;
- #4: Calculează și memorează coordonatele componentelor din imaginea \mathbf{ITF} ;
- #5: Determină coordonatele unui auto-termen, (x_j, y_j) primul termen din partea stângă, pe axa timpului:

$$j = \arg \min \{x_j\} \quad (10)$$

- #6: Extrage trăsăturile auto-termenului selectat, în vederea filtrării, sub forma unui vector definit prin ecuația (8);
- #7: Calculează parametrii filtrului trece bandă pentru filtrarea auto-termenului;
- #8: Filtrează semnalul $y(t)$, de la iterația anterioară, pentru diminuarea auto-termenului selectat;
- #9: Calculează imaginea \mathbf{ITF} și, prin comparație cu imaginea (de la iterația) anterioară, determină termenii care au dispărut sau a fost atenuați; aceștia din urmă sunt termenii de interferență;
- #10: Memorează coordonatele și forma auto-termenului selectat la pasul 5;
- #11: Repetă pașii 2 la 10 până când se obține o singura componenta în imaginea \mathbf{ITF} ;
- #12: Reface imaginea \mathbf{ITF} prin adugarea tuturor autotermenilor îndepărtați/filtrați;

End.

5.3. Descrierea rezultatelor obținute pe un exemplu de aplicare

Se prezintă rezultatele obținute în cadrul unor experimente pe baza de simulare pe calculator. Semnalele de test corespund celor înregistrate în echipamentele industriale, generatoare de vibrații. S-au considerat $M=5$ componente sinusoidale, modulate în amplitudine de impulsuri Gaussiene. Înregistrarea conține $N=1024$ elemente (eșantioane) și este afectată aditiv de zgomot alb Gaussian. Ecuațiile de definiție în timp discret sunt:

$$x_i[k] = A_i \cdot \exp\left(-B_i^2(k - \tau_i)^2 \cdot \sin(\omega_i \cdot k/N)\right) \quad (11)$$

$i=1,2,\dots,5; k = 0, 1, 2, \dots, N-1$

unde $A(i)=1.25$, $B(i)=150$, $f = \{100, 300, 600, 900, 1100\}$ și $\tau = \{100, 300, 500, 700, 800\}$. În final, semnalul discret în timp este

Solicitant – Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați,

Prof.dr.ing. Julian Gabriel BÎRSAN



Prof.dr.ing. Dorel Aiordăchioaie

Prof.dr.ing. Dorel Aiordăchioaie

$$x[k] = \sum_{i=1}^M x_i[k] + n[k], \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (12)$$

unde $n[k]$ reprezintă eşantioanele zgomotului, în condiții controlate de raport semnal-zgomot (SNR), de exemplu, de la 30 dB la -10 dB.

Deși valorile vectorilor de mai sus au fost alese pentru a reprezenta clar fenomenele dar și principiul metodei de detecție și filtrare, ele corespund - ca ordin de mărime - valorilor fizice din domeniul mașinilor electrice de mică putere (până la 3-10 kW).

S-au considerat două cazuri de test cu următoarele particularități:

- cazul #1: două componente, nr. 3 și 5, au frecvențe diferite și apar la aceleași momente de timp;
- cazul #2: două componente, nr. 3 și 5, cu aceeași frecvență și apar la momente diferite de timp.

Semnalele de test sunt prezentate în figura 2. Imaginile asociate reprezentării timp-frecvență sunt prezentate în figura 3. Termenii reali, auto-termenii, sunt reprezentați cu cercuri goale. Cvasi-cercurile hașurate reprezintă termenii de interferență, unii dintre ei suprapunându-se mai mult sau mai puțin, peste unii termenii reali.

Figura 4 prezintă evoluția imaginilor timp-frecvență în timpul iterațiilor de procesare, pentru cazul #1, iar figura 5 pentru cazul #2. Pentru fiecare caz se prezintă patru imagini, la iterații diferite, de la stânga la dreapta și de sus în jos. La fiecare pas de prelucrare, un auto-termen este filtrat și dispar mai mulți termenii de interferență. La baza și în stânga imaginilor se prezintă evoluțiile entropiilor Renyi, asociate coloanelor și respectiv liniilor.

Figura 6 prezintă rezultatele finale, prin reprezentarea imaginilor timp-frecvență fără termenii de interferență. Autoterminii sunt reprezentați prin cvasi-cercuri, linii închise, însă se pot folosi și alte reprezentări.

Figura 7 prezintă, pentru comparație, atât imaginile asociate semnalului inițial cât și cele obținute la sfârșitul prelucrărilor, pentru fiecare din cele două cazuri.

6. Avantaje invenției în raport cu stadiul tehnicii

Metoda este concepută pentru o clasă largă de semnale, nestaționare cu mai multe componente deterministe, de tip impulsiv.

Avantajele pe care soluția propusă le prezintă, comparativ cu soluțiile cunoscute în prezent, sunt:

1. Se detectează automat termenii proprii (auto-termenii) din reprezentarea timp-frecvență Wigner-Ville:

Solicitant – Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați,
Prof.dr.ing. Iulian Gabriel BÎRSAN



Inventator
Prof.dr.ing. Dorel Aioacăchioaie

2. Se filtrează automat termenii proprii (auto-termenii) din reprezentarea timp-frecvență Wigner-Ville;
3. Se identifică automat termenii de tip interferență din reprezentarea timp-frecvență Wigner-Ville;
4. Se păstrează rezoluția inițială a termenilor proprii (auto-termenii) din reprezentarea timp-frecvență Wigner-Ville.

7. Modul de realizare și aplicare a invenției

Modul de realizare și aplicare a invenției constă în utilizarea metodei pentru pre-procesarea semnalelor din diverse domenii, cum sunt semnalele de vibrații sau din aplicațiile sonar, pentru analiza semnalelor cu transformata timp-frecvență Wigner-Ville.

Implementarea metodei s-a făcut într-un limbaj de nivel înalt, tip Matlab. Implementarea reală, într-un produs comercial, se poate face în orice limbaj de programare, pornind de la cele simple, de exemplu C, și continuând până la cele mai evolute, de exemplu Java.

Referințe

- [1]. R. Isermann, *Supervision, fault-detection and fault-diagnosis methods*, Control Engineering Practice, vol.5 (5), 1997.
- [2]. F. Gustafsson, *Adaptive Filtering and Change Detection*, John Wiley & Sons, Ltd, 2000.
- [3]. M. Vetterli, J. Kovacevic, *Wavelets and Subband Coding*, Prentice Hall PTR, 1995.
- [4]. B. Boashash, *Time Frequency Analysis. A Comprehensive Reference*, Elsevier, 2003.
- [5]. L. Stankovic, M. Dakovic, T. Thayaparan, *Time-Frequency Signal Analysis with Applications*, Artech House, Boston, February 2013.
- [6]. P.D. McFadden, W. Wang, *Time-Frequency Domain Analysis of Vibration Signals for Machinery Diagnostics, (I) Intro. to the Wigner-Ville Distribution*, Univ. of Oxford, Report No. OUEL 1859 / 92, 1990.
- [7]. F. Auger, P. Flandrin, P. Gonçalves, O. Lemoine, *Time-frequency toolbox*, CNRS France-Rice University, 1996.
- [8]. L. Cohen, *Time-Frequency Distributions - A Review*, Proceedings of the IEEE, vol. 77 (7), 1989, pp. 941–980.

Solicitant – Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați,

Prof.dr.ing. Iulian Gabriel BÎRSAN



Inventator

Prof.dr.ing. Dorel Alordăchioaie

- [9]. F. Hlawatsch, F. Boudreaux-Bartels, *Linear and Quadratic Time-Frequency Signal Representations*, IEEE SPM, 1992, pp. 21–67.
- [10]. R.B. Pachori, P. Sircar, *A new technique to reduce cross terms in the Wigner distribution*, Digital Signal Processing, vol. 17, 2007, pp.466–474.
- [11]. F. Sattar, G. Salomonsson, *The use of a filter bank and the WVD for time-frequency representation*, IEEE Trans. SP, vol 47, 1999, pp.1776–1783.
- [12]. S. Gomez, V. Naranjo, R.Miralles, *Removing interference components in time-frequency representations using morphological operators*, Journal of Visual Comm. and Image Repres., vol. 22, 2011, pp. 401–410.
- [13]. L. Zheng, D. Shi, J. Zhang. *CAF-FrFT: A center-affine-filter with fractional Fourier transform to reduce the cross-terms of Wigner distribution*, Signal Processing, vol. 94, 2014, pp. 330–338.
- [14]. D.L. Jones, R.G. Baraniuk, *An adaptive optimal-kernel time-frequency representation*, IEEE Trans. on SP, vol. 43, 1995, pp. 2361–2371.
- [15]. H. Choi, W. Williams, *Improved time-frequency representation of multicomponent signals using exponential kernels*, IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. 37, 1989, pp. 862–871.
- [16]. I. Reinhold, M. Sandsten, *Optimal time-frequency distributions using a novel signal adaptive method, for automatic component detection*, Signal Processing, 133, 2017, pp. 250–259.
- [17]. L. Stankovic, I. Djurovic, S. Stankovic, M. Simeunovic, S. Djukanovic, M. Dakovic, *Instantaneous freq. in time-frequency analysis: enhanced concepts and performance of estimation algorithms*, DSP, vol. 35, 2014, pp. 1–13.
- [18]. Dorel Aiordachioaie and Theodor D. Popescu, *A Method to Detect and Filter the Cross Terms in the Wigner-Ville Distribution*, ISSCS 2017 (IEEE 13-th International Symposium on Signals, Circuits and Systems), 13-14 July 2017, Iasi, Romania.
- [19]. V. Sucic, N. Saulig, B. Boashash, *Estimating the number of components of a multicomponent nonstationary signal using the short-term time-frequency Rényi entropy*, EURASIP J. Adv. SP, 2011, 2011-125.
- [20]. V. Sucic, N. Saulig, B. Boashash, *Analysis of local time-frequency entropy features for nonstationary signal components time supports detection*, Digital Signal Processing, vol. 34, 2014, pp. 56–66.

Bibliografie suplimentară

- [21]. M. Basseville, I. Nikiforov, *Detection of Abrupt Changes-Theory and Applications*, P.Hall, N.J., 1993.

Solicitant – Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați.

Prof.dr.ing. Juliano Gabriel BÎRSAN

Inventator,

Prof.dr.ing. Dorel Aiordachioaie

- [22]. J. Gertler, *Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems*, Marcel Dekker, 1998.
- [23]. M. Timusk, M. Lipsett, C. K. Mechefske, *Fault detection using transient machine signals*, Mechanical Systems and Signal Processing, 2008, pp. 1724-1749.
- [24]. M. Basseville, *Statistical approaches to industrial monitoring problems - Fault detection and isolation*, Proc. of the 11th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation - SYSID'97, Kitakyushu, Japan, July 8-11, 1997.
- [25]. F. Gustafsson, *Statistical signal processing approaches to fault detection*, Annual Reviews in Control, 2007, pp. 41-54.
- [26]. A. Belouchrani, K. Abed Meraim, J. F. Cardoso, E. Moulines, *A blind source separation technique using second-order statistics*, IEEE Transaction on Signal Processing 45, 1997, pp.434-444.
- [27]. J. F. Cardoso, A. Souloumiac, *Blind beamforming for non gaussian signals*, IEE Proceedings-F, 1993, pp. 362-370.
- [28]. L. Cohen, *Time-Frequency Distribution*, Prentice Hall, New York, 1995.
- [29]. A. Ypma, *Learning Methods for Machine Vibration Analysis and Health Monitoring*, PhD Thesis, TU Delft, 2001.

Solicitant – Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați,

Prof.dr.ing. Iulian Gabriel BÎRSAN



Inventator,


Prof.dr.ing. Dorel Aidunțoale

Metodă pentru detecția și filtrarea componentelor de interferență din transformata timp-frecvență Wigner-Ville

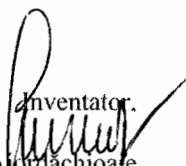
Revendicări

1. Ideea identificării termenilor de interferență din imaginea timp-frecvență Wigner-Ville, pe baza identificării și filtrării termenilor proprii (auto-termenilor). Un termen de interferență există numai între doi termeni proprii. Ideea **este caracterizată prin aceea că** variația unuia dintre termenii proprii afectează imediat termenii de interferență asociați perechilor din care face parte termenul propriu modificat.
2. Metoda de detecție și filtrare a componentelor de interferență din transformata Wigner-Ville, în cazul semnalelor nestaționare, cu mai multe componente sinusoidale. Metoda **este caracterizată prin aceea că** este de tip iterativ și, la fiecare iterație, se identifică un auto-termen în vederea estimării efectului acestuia prin filtrarea trece-bandă a semnalului analizat.
3. Identificarea termenilor proprii (autotermenilor) cu ajutorul entropiei Renyi. Metoda **este caracterizată prin aceea că** termenii proprii, prin natura lor deterministă, generează minime pentru entropia imaginii timp-frecvență Wigner-Ville. Pentru calculul coordonatelor minimelor, pe axele O_x (timp) și O_y (frecvență), se calculează separat entropiile pe coloanele și pe liniile imaginii timp-frecvență. Coordonatele minimelor constituie coordonatele auto-termenilor din imaginea timp-frecvență.

Solicitant – Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați.

Prof.dr.ing.  Julian Gabriel BIRSAN



Inventator,


Prof.dr.ing. Dorel Avordăchioaie

Metodă pentru detecția și filtrarea componentelor de interferență din transformata timp-frecvență Wigner-Ville

Desene

Borderou figuri

Figura 1 - Structura de bază a metodei de detecție și filtrare

Figura 2 – Semnale de testare

Figura 3- Reprezentarea timp-frecvență a semnalelor de test

Figura 4 - Evoluția reprezentării imaginii timp-frecvență pentru cazul #1

Figura 5 - Evoluția reprezentării imaginii timp-frecvență pentru cazul #2

Figura 6 – Rezultatele finale pentru cazurile #1 și #2

Figura 7 – Comparație între stadiul inițial și final al prelucrării, pentru cazurile #1 și #2

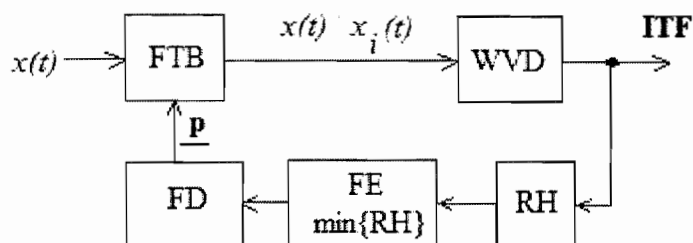


Figura 1: Structura de bază a metodei de detecție și filtrare

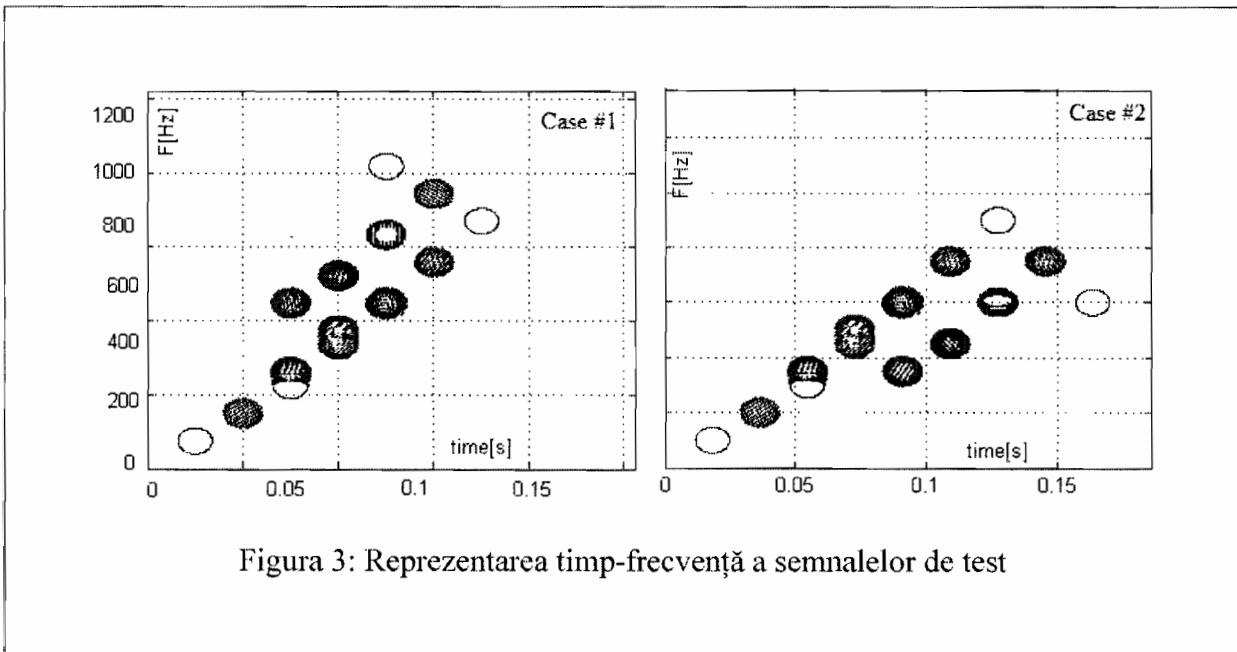
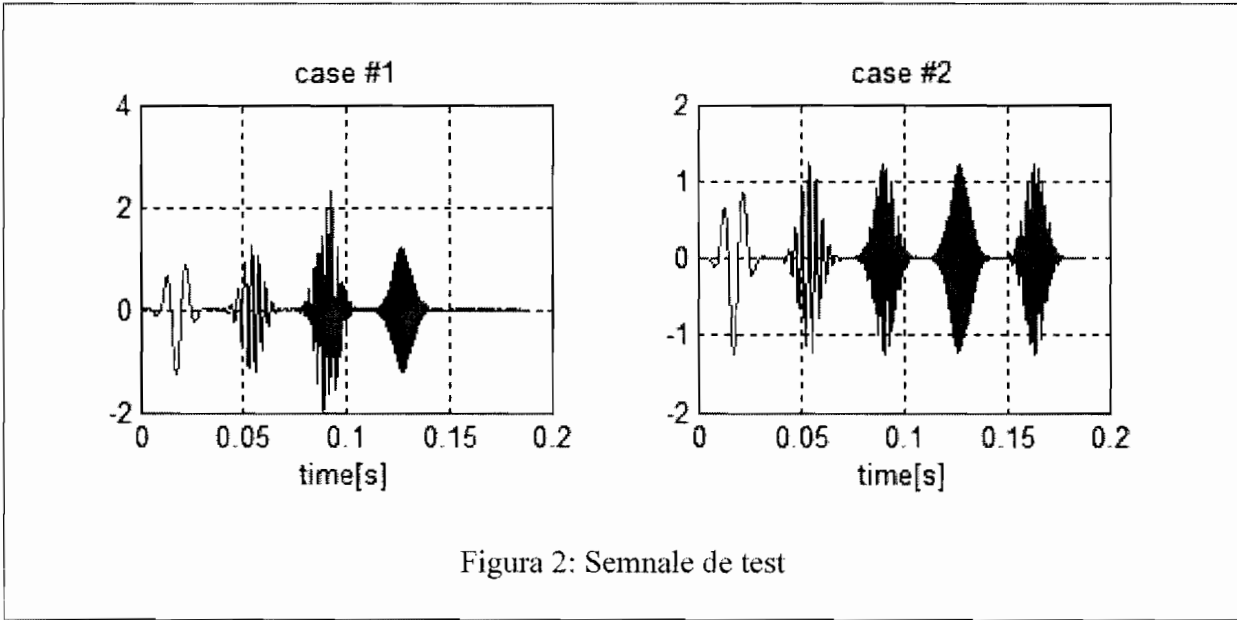
Solicitant – Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați.

Prof.dr.ing. Adrian Gabriel BILRSAN



Inventator,

Prof.dr.ing. Dorel Aiora



Solicitant – Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați,

Prof.dr.ing. Tolan Gabriel BIRSAN

Inventator,

Prof.dr.ing. Dorel Aiordăbăneanu

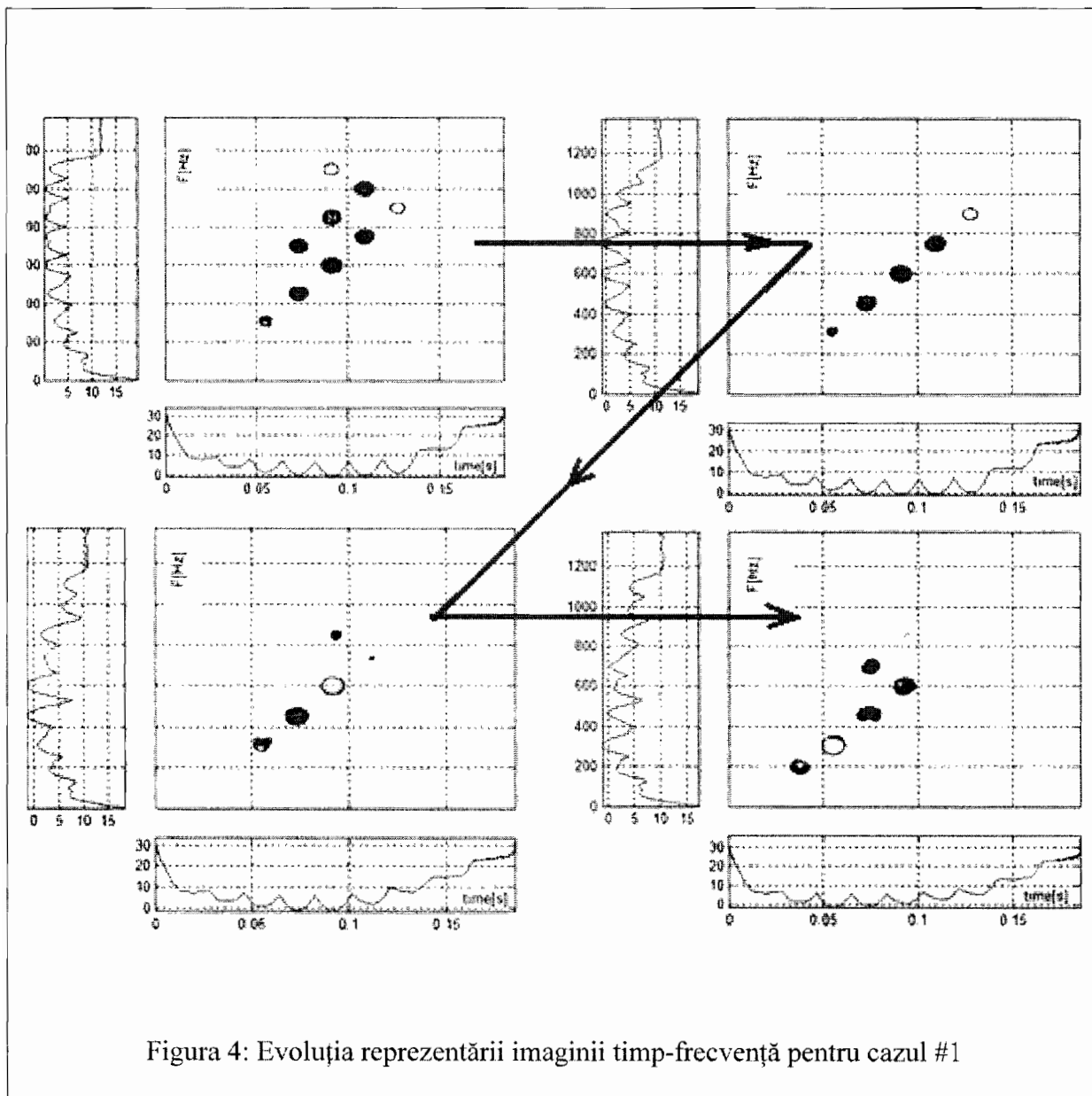
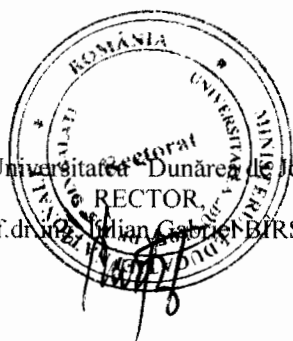


Figura 4: Evoluția reprezentării imaginii timp-frecvență pentru cazul #1

Solicitant – Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați,

Prof.dr.ing. Ilian Gabriel BIRSAN



Inventator,
Prof.dr.ing. Dorel Jerdan

Prof.dr.ing. Dorel Jerdan

h/

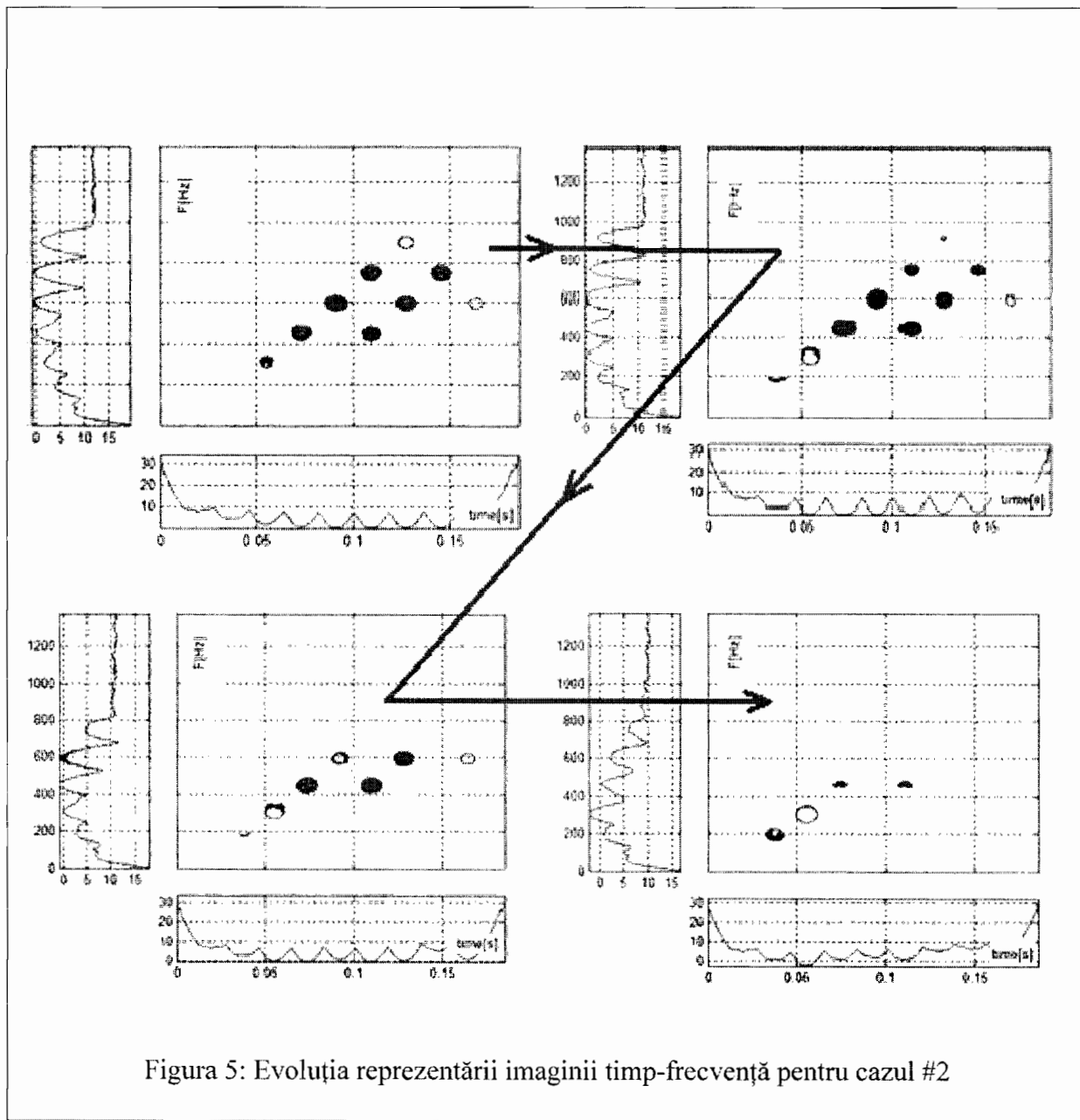


Figura 5: Evoluția reprezentării imaginii timp-frecvență pentru cazul #2

Solicitant – Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați,
RECTOR
Prof.dr.ing. Valian Ștefănel BÎRSAN

Inventator,
Prof.dr.ing. Dorel Aioanei

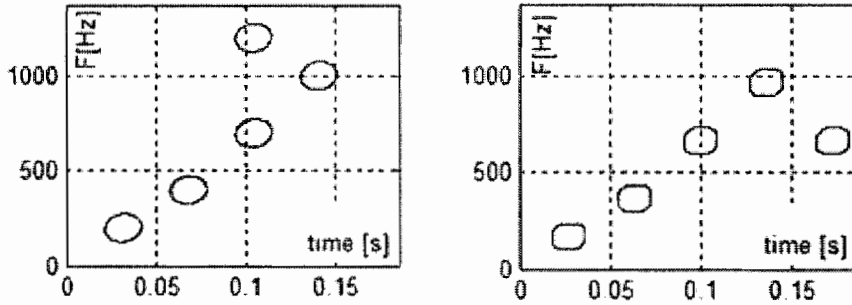


Figura 6: Rezultatele finale pentru cazurile #1 și #2

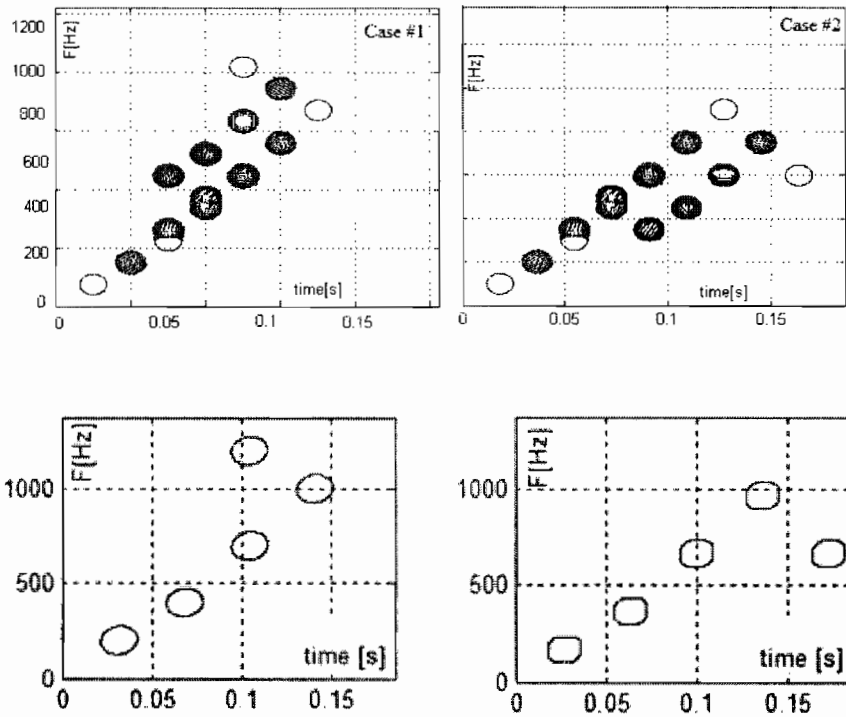


Figura 7: Comparație între stadiul inițial și cel final al prelucrării, pentru cazurile #1 și #2

Solicitant – Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați,

Prof.dr.ing. Adrian Gabriel BIRSAVAN



Inventator,
Prof.dr.ing. Dorel Aiora

Prof.dr.ing. Dorel Aiora