

**PROGRAMUL PARTENERIATE ÎN DOMENIILE PRORITARE
PROIECTE COLABORATIVE DE CERCETARE APLICATIVĂ (PCCA)**

SECȚIUNEA 1

RAPORTUL ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC (RST) / 20 pagini

Etapa de execuție:	III
Titlul etapei:	Construcție model experimental și finalizare toolbox CDD
Titlu proiect:	Model experimental pentru detecția și diagnoza schimbărilor în procese vibratorii folosind tehnici avansate de măsurare și analiză bazate pe model
Cod proiect:	PN-II-PT-PCCA-2013-4-0044
Acronim proiect:	VIBROCHANGE
Autoritate contractantă:	Unitatea Executivă pentru Finanțarea Învățământului Superior, a Cercetării, Dezvoltării și Inovării (UEFISCDI)
Contractor:	Universitatea “Dunărea de Jos” din Galați
Contract de finanțare nr:	224 / 01.07.2014
Termen etapă:	15.12.2016

Parteneriat:

CO - Universitatea Dunărea de Jos Galați, Aiordăchioaie Dorel, *Director proiect*
P1 - INCD în Informatică București, Popescu Dan Theodor, *Responsabil P1*
P2 - INCDMTM București, Cioboată Daniela, *Responsabil P2*
P3 - TeamNet Engineering SRL București, Roman Nicu, *Responsabil P3*

RAPORTUL ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC ¹

(Sinteza 20 pagini) ²

1. Rezumatul etapei

1.1. Localizarea cercetării

Proiectul abordează problema detecției și diagnozei schimbărilor (*Change Detection and Diagnosis - CDD*) în procese vibratorii folosind tehnici avansate de măsurare și analiză bazate pe model, pentru asigurarea mentenanței predictive a mașinilor și utilajelor industriale. Procesele vibratorii sunt caracterizate de fenomene vibratorii, care includ, în principal, ca efect, semnale de tip vibrații mecanice, rezultate în urma funcționării normale sau anormale a mașinilor și utilajelor industriale.

Cercetările din cadrul proiectului se înscriu în tendința și cerințele crescute, din partea utilizatorilor, în ceea ce privește înlocuirea procedurilor de întreținere sistematică a mașinilor și utilajelor industriale prin strategii de întreținere condițională, bazate pe supravegherea continuă sau prin sondaj a comportării lor, cu scopul de a preveni funcționarea anormală a acestora și a evita producerea unor catastrofe de natură economică sau ecologică. În acest context, apare ca soluție necesară, posibilă și eficientă, detecția din timp a funcționării anormale a sistemului în raport cu o caracterizare a sa în modul de lucru normal: fără excitare artificială, schimbare a regimului de lucru sau oprire.

Proiectul își propune să dezvolte două produse, ambele noi, originale și competitive internațional, care să ofere soluții la rezolvarea problemelor CDD pentru procese vibratorii.

Primul produs este o bibliotecă de programe, de tip Toolbox Matlab (VIBROTOOL), care să implementeze cei mai buni algoritmi pentru CDD (unii originali, brevetabili, dar și unii existenți, care vor fi optimizați în cadrul proiectului), utilizând tehnici clasice, dar și tehnici noi, bazate pe analiza multirezoluție, soft computing și fuziunea informației. Produsul va constitui o referință pentru problema CDD și va permite evaluarea și raportarea performanțelor algoritmilor noi, dezvoltați în cadrul proiectului, la cei cunoscuți.

Al doilea produs este un modul hardware experimental (VIBROMOD), având la bază o aplicație software pentru CDD, ce va fi utilizat în monitorizarea unor procese pilot, în condiții de laborator, și a unui proces industrial complex. Acesta din urmă va implementa anumite componente din VIBROTOOL. Modelul fizic va permite verificarea algoritmilor în condiții reale de exploatare și va constitui baza pentru lansarea comercială a produselor pentru CDD. Cele două componente menționate, VIBROTOOL și VIBROMOD, împreună cu sistemul de măsură VIBROSIG, vor constitui modelul experimental pentru CDD: VIBROCHANGE (Fig. 1).

Proiectul este implementat de un consorțiu format din Universitatea „Dunărea de Jos” Galați (CO), INCD în Informatică din București (P1), INCD pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării din București (P2) și SC Teamnet Engineering din București (P3).

¹Documentul este întocmit conform indicațiilor UEFISCDI: Rezumat+Descriere tehnico-științifică

²Raportul de cercetare al etapei conține cca 306 pagini și poate fi furnizat la cerere.

1.2. Obiectivele proiectului

Obiectivul general al proiectului este realizarea unui model experimental pentru monitorizarea proceselor vibratorii în vederea detecției și diagnozei schimbărilor în mașini și utilaje industriale, folosind tehnici avansate de măsurare și analiză bazate pe model.

Obiectivele specifice urmărite se referă la:

O1: Dezvoltarea, implementarea și validarea unor metode noi, tehnici și algoritmi pentru detecția și diagnoza schimbărilor în funcționarea mașinilor și utilajelor industriale;

O2: Optimizarea algoritmilor clasici, cunoscuți, pentru CDD și pentru diverse procese vibratorii;

O3: Fuziunea informațiilor rezultate în urma (și în timpul) procesului de detecție și diagnoză a schimbărilor, precum și a efectelor acestora în spectrul de energie de până la 100 kHz;

O4: Realizarea unei biblioteci de programe pentru CDD, de tip Toolbox Matlab (VIBROTOOL), care să implementeze atât metodele CDD clasice (cunoscute) cât și cele care vor fi dezvoltate în cadrul proiectului;

O5: Realizarea unui modul hardware experimental pentru CDD (VIBROMOD), având la bază o aplicație software, care să aibă ca obiectiv monitorizarea unui utilaj industrial, și care să utilizeze rezultatele la nivel teoretic, algoritmic și metodologic, obținute în cadrul proiectului.

Pentru atingerea obiectivelor menționate, vor fi parcurse următoarele patru etape, conform Actului Adițional nr. 4/2016, semnat cu UEFISCDI:

Etapa I (decembrie 2014), **Analiza sistemelor de detecție și diagnoză a schimbărilor (CDD) în procese vibratorii**, a avut ca obiectiv evaluarea diverselor metode, tehnici și algoritmi existenți, în vederea obținerii unei referințe definitive, la zi, pentru metodele și algoritmii de CDD, ce va permite definirea unor direcții de aprofundare a domeniului.

Etapa II (decembrie 2015), **Stabilirea structurii modelului experimental și a metodelor CDD implementate**, care constă în definirea structurii modelului experimental, proiectarea componentelor acestuia, inclusiv stabilirea metodelor și tehnicilor CDD care urmează a fi implementate. De asemenea, în acest context, vor fi dezvoltate metode, tehnici și algoritmi pentru monitorizarea proceselor vibratorii (ce apar pe mașini și utilaje industriale), bazate pe model și utilizând tehnici avansate de măsurare.

Etapa III (decembrie 2016), **Construcție model experimental și finalizare toolbox CDD**, constă în construirea componentelor VIBROMOD, hardware și software, și VIBROGEN, pentru testarea modelului experimental, precum și finalizarea toolbox-ului Matlab (VIBROTOOL) prin completarea cu funcții avansate și evaluare prin simulare Monte Carlo.

Etapa IV (septembrie 2017), **Experimentări pentru evaluarea modelului experimental**, constă în efectuarea de experimentări cu date din laborator, dar și din medii industriale, în vederea stabilirii performanțelor modelului experimental VIBROCHANGE.

1.3. Obiectivele Etapei a III-a

În Fig. 1 se prezintă legătura dintre principalele module ale modelului experimental VIBROCHANGE, VIBROTOOL (Toolbox Matlab pentru CDD) și VIBROMOD (Modulul

hardware pentru CDD, care implementează software o parte din componentele VIBROTOOL). Pentru lucrul în condiții de laborator, se va construi un sistem electromecanic de testare (VIBROGEN), pentru generarea vibrațiilor în condiții controlate de lucru a proceselor electro-mecanice studiate.

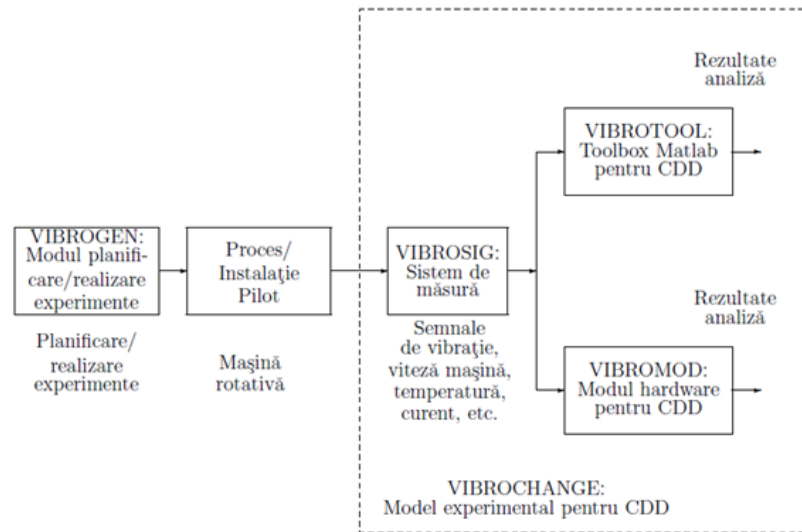


Fig. 1: Sistemele fizice componente ale modelului experimental VIBROCHANGE

Etapa din anul 2016 a avut trei obiective specifice, corespunzătoare celor trei blocuri de bază prezentate anterior.

Primul obiectiv se referă la definirea și dezvoltarea unor componente noi ale bibliotecii de programe, gen Toolbox Matlab, VIBROTOOL, pentru rezolvarea problemei CDD. Aceste componente fac apel la unele rezultate noi în domeniul CDD (metode avansate), și permit rezolvarea unor situații mai deosebite în acest domeniu, inclusiv detecția schimbărilor în sistemul propriu-zis, ce face obiectul monitorizării, și în mediul în care acesta operează, asigurându-se astfel detecția robustă a schimbărilor în sistem.

Al doilea obiectiv se referă la dezvoltarea sistemului de testare VIBROGEN, în vederea studierii în laborator a diferite scenarii, specifice problematicei CDD, în cazul producerii unor defecțiuni ale componentelor mașinilor rotative, cum ar fi lagărele cu rulmenți și arborii acestora.

Al treilea obiectiv se referă la construcția componentei VIBROMOD a modelului experimental, hardware și software, ca soluție posibilă pentru monitorizarea vibrațiilor de joasă frecvență în mașinile și instalațiile industriale.

1.4. Descrierea activităților

Activitățile desfășurate în cadrul **Etapei a III-a** a proiectului au condus la realizarea componentelor de bază ale modelului experimental VIBROCHANGE: Toolbox-ul Matlab pentru CDD, VIBROTOOL; componenta modul VIBROMOD, având la bază o aplicație software, ca echipament independent pentru problema CDD și componenta sistem de testare VIBROGEN.

Activitățile desfășurate în cadrul acestei etape sunt conforme cu cele planificate în cadrul **Etapei a III-a**, din planul de realizare al proiectului. De regulă, aceste activități se regăsesc în cadrul diferitelor capitole ale raportului de cercetare. Facem, în continuare, o scurtă descriere a acestor activități.

Activitatea **A.3.1. Dezvoltare bibliotecă de programe pentru CDD (Metode avansate)** a constat în dezvoltarea de programe noi pentru CDD, în vederea completării bibliotecii de programe VIBROTOOL, demarată în etapa anterioară, cu noi funcțiuni.

Activitatea **A.3.2. Validarea componentelor software CDD și optimizarea funcțională** a permis verificarea modulelor program ce compun toolbox-ul Matlab, realizate anterior, cât și în prezenta etapă a proiectului.

Activitatea **A.3.3. Evaluarea metodelor CDD implementate prin simulări Monte Carlo** a permis verificarea robusteții metodelor CDD și a algoritmilor implementați în toolbox-ul Matlab prin simulare Monte Carlo.

Activitatea **A.3.4. Proiectarea modulelor software pentru modelul experimental CDD** se referă la două categorii de aplicații informatice. Pe de o parte, se referă la funcțiile de bază și la cele avansate pentru prelucrarea semnalelor de vibrație, iar, pe de altă parte, se referă la funcțiile de transmitere și afișare a datelor folosite. Componenta VIBROMOD are implementate funcții scrise în Java, iar sistemul de măsurare bazat pe PLC are funcții scrise în limbajul propriu PLC.

Activitatea **A.3.5. Construcție sistem de măsurare și culegere date pentru testarea modelului experimental** a permis construcția sistemului de testare VIBROGEN a modelului experimental, în vederea folosirii acestuia pentru testarea în condiții de laborator.

Activitatea **A.3.6. Efectuarea de experimentări pe mașini și utilaje în laborator** a permis verificarea compatibilității și performanțelor componentelor folosite în construcția sistemului de testare, înainte de construcția propriu-zisă a produsului VIBROGEN.

Activitatea **A.3.7. Achiziții și începerea construcției modelului experimental** a inclus toate activitățile impuse de întocmirea caietelor de sarcini, specifice achizițiilor de bunuri și servicii, precum și pentru construcția și verificarea funcțiilor modulelor comandate.

În cadrul activității **A.3.8. Validarea modulelor software CDD în cadrul modelului experimental** s-au făcut teste de compatibilitate a produselor informatice scrise în Java cu rezultatele funcțiilor similare scrise în Matlab, cu și fără funcții dedicate.

Activitatea **A.3.9. Diseminarea prin comunicarea și publicarea rezultatelor cercetării** a permis publicarea în anul 2016 a 8 lucrări în Proceedings-urile unor conferințe internaționale Web of Science (WOS) și indexate în BDI, 6 dintre acestea fiind organizate sub egida IEEE. În cadrul consorțiului au avut loc mai multe întâlniri de lucru, destinate pregătirii comunicării rezultatelor cercetării. Întâlnirile au permis un contact direct între parteneri și au condus la cunoașterea punctelor de vedere ale acestora, în domeniul ce face obiectul prezentului proiect.

În cadrul activității **A.3.10. Management proiect** s-au organizat întâlniri de lucru la sediile partenerilor. Cea mai mare parte a activităților de lucru și de schimb de experiență și de validare reciprocă a rezultatelor obținute s-a desfășurat însă prin comunicare electronică, prin

email și telefon. O parte însemnată a timpului a fost alocată negocierii, contractării, întocmirii, semnării și urmăririi documentelor de raportare și Actelor Adiționale încheiate în 2016.

Raportul final de cercetare al etapei cuprinde 11 capitole și 5 Anexe, în cadrul a 306 de pagini. Majoritatea capitolelor corespund, ca denumire și obiective, cu activitățile și subactivitățile din planul de realizare, însă sunt capitole cu rezultate din mai multe activități. Legăturile de bază, dintre capitolele raportului de cercetare și activitățile din planul de realizare, sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabel 1: Legăturile primare dintre capitolele Raportului de cercetare și activitățile din Planul de realizare al **Etapei a III-a** a proiectului

Nr.	Denumire capitol	Activități
1.	Introducere	A.3.1...A.3.10
2.	Dezvoltare bibliotecă de programe pentru CDD	A.3.1.
3.	Validarea componentelor software CDD și optimizare funcțională	A.3.2.
4.	Evaluarea metodelor CDD implementate prin simulări Monte-Carlo	A.3.3.
5.	Metode avansate de tip Sparse Computing pentru CDD	A.3.1.
6.	Extragerea trăsăturilor semnalelor de vibrație cu metode bazate pe transformări	A.3.1.
7.	Construcția componentei VIBROMOD a modelului experimental	A.3.7.
8.	Construcția sistemului de generare vibrații VIBROGEN	A.3.5. + A.3.6.
9.	Conversia unor funcții din Toolbox-ul Matlab pentru CDD (VIBROTOOL) în funcții pentru componenta VIBROMOD a modelului experimental	A.3.4.
10.	Proiectarea modulelor software pentru componenta VIBROMOD a modelului experimental	A.3.4. + A.3.8.
11.	Concluzii finale	A.3.1...A.3.10

În cadrul etapei următoare a proiectului, finală, **Etapa a IV-a, Experimentări pentru evaluarea modelului experimental**, cu termen de predare 30.09.2017, se vor desfășura mai multe activități ce se referă, în principal, la: finalizarea modelului experimental VIBROCHANGE; efectuarea de experimentări pe mașini și componente ale acestora în condiții de laborator; efectuarea de experimentări pe date reale din mediul industrial; analiza și evaluarea rezultatelor obținute; elaborarea documentației tehnice pentru produsele rezultate.

1.5. Rezultate

Rezultatele activității de cercetare, desfășurate în cadrul **Etapei a III-a** a proiectului, sunt prezentate sub forma unui Raport de cercetare. Pentru activitatea de predare s-a realizat, conform instrucțiunilor UEFISCDI, prezentul document, ce reprezintă o sinteză a Raportului de cercetare în extenso (306 pagini). Raportul de față se regăsește și pe pagina de internet a proiectului ³.

Din cele prezentate în cadrul studiului, ce face obiectul **Etapei a III-a**, etapă intermediară a proiectului, se pot evidenția următoarele rezultate de bază:

1. S-a finalizat o bibliotecă de programe pentru CDD (VIBROTOOL). Biblioteca a inclus module primare de calcul specifice problemei CDD, dezvoltate încă din **Etapa a-II-a** a

³ <http://www.etc.ugal.ro/VIBROCHANGE/vibrochange.php>

proiectului. În această etapă au fost incluse funcții avansate pentru CDD, care să contribuie la creșterea performanțelor acestuia. Tipurile de programe prezente în biblioteca VIBROTOOL aparțin următoarelor categorii:

- Programe pentru prelucrarea primară a semnalelor (PRO);
- Programe pentru detecția schimbărilor și segmentare (CDS);
- Programe pentru separarea ”oarbă” a surselor (BSS);
- Programe pentru analiza timp-frecvență (TFR);
- Programe pentru CDD utilizând algoritmi de tip sparse computing;
- Programe pentru extragerea trasăturilor statistice și informaționale.

2. S-a verificat robustețea algoritmilor CDD prin simulări Monte Carlo.
3. S-au validat componentele software pentru CDD, pe baza rezultatelor obținute în **Etapa a II-a** a proiectului, dar și al simulărilor Monte Carlo, care au făcut obiectul prezentei etape.
4. S-a dezvoltat sistemul de testare în condiții controlate de lucru – VIBROGEN. Sistemul este controlat de calculator, prin impunerea regimului de viteză al procesului generator de vibrații (motor electric), cât și prin modul de încărcare al acestuia, prin specificarea momentului de aplicare a sarcinii și a valorii acesteia.
5. S-a dezvoltat componenta VIBROMOD a modelului experimental. Acest echipament este constituit dintr-o serie de module electronice specializate conectate la un PLC. Un modul îndeplinește una sau mai multe funcții din setul de funcții primare al modelului experimental. Prelucrările efectuate în acest echipament definesc nivelul 1 de procesare. În etapa următoare se vor adăuga nivelurile 2 și 3 pentru prelucrare avansată și management date.
6. S-au dezvoltat funcțiile avansate pentru CDD ce vor fi implementate în componenta VIBROMOD. În această componentă vor fi implementate o parte din funcțiile avansate incluse în toolbox-ul VIBROTOOL. Pentru început, s-au implementat funcții avansate în cod (standard) Matlab, deci numai cu folosirea funcțiilor standard, inclusiv FFT. Aceste funcții se referă la: extragerea anvelopei și estimarea frecvenței instantanee cu transformata Hilbert; transformata timp-frecvență (Wigner-Ville); extragerea trasăturilor din imaginea timp-frecvență și transformări entropice.
7. S-au dezvoltat în Java funcții specifice de lucru, dar și funcții avansate pentru CDD. Funcțiile avansate specificate anterior au fost implementate și testate în Java, împreună cu o serie de funcții suport pentru afișare, preluare și transmitere date prelucrate.

2. Descrierea științifică și tehnică

În continuare se descriu, detaliat, obiectivele și rezultatele prezentate în cadrul fiecărui capitol din Raportul de cercetare al **Etapei a III-a**.

Capitolul 1 este destinat unei **Introduceri**, specifică acestei etape a proiectului. Se prezintă obiectivele proiectului, obiectivele etapei din 2016, precum și principalele activități desfășurate.

Capitolul 2, Dezvoltare bibliotecă de programe pentru CDD, are ca obiectiv prezentarea unor noi componente ale bibliotecii de programe, gen Toolbox Matlab, VIBROTOOL, pentru rezolvarea problemei CDD, dezvoltate în cadrul prezentei etape a proiectului. Aceste componente fac apel la unele rezultate noi în domeniul CDD (metode avansate), și permit rezolvarea unor situații mai deosebite în acest domeniu, inclusiv detecția schimbărilor în sistemul propriu-zis ce face obiectul monitorizării, și în mediul în care acesta operează, asigurându-se astfel detecția robustă a schimbărilor în sistem.

O altă categorie de metode implementate se referă la detecția schimbărilor în starea sistemului, ce face uz de reprezentarea acestuia în spațiul stărilor; în această situație este posibilă și monitorizarea sistemelor de vibrație cu variabile exogene (intrări măsurabile). Principalele module program dezvoltate și testate în această etapă se referă la:

- Detecția schimbărilor în parametrii și/sau dispersia zgomotului;
- Detecția schimbărilor în modelele de stare utilizând testul raport de verosimilitate generalizat (GLR);
- Detecția schimbărilor în modelele de stare utilizând testul raport de verosimilitate marginalizat (MLR)

Pentru fiecare din modulele program menționate anterior s-a realizat prezentarea conceptuală a algoritmului utilizat, descrierea programului (funcția, parametrii de intrare, parametrii de ieșire) și rezultatele experimentale obținute în cadrul unui exemplu numeric de utilizare a programului. În acest scop au fost dezvoltate programe demo specifice. Elaboarea modulelor program specifice metodelor implementate și a programelor demo a necesitat elaborarea unor module programe auxiliare, care fac obiectul unei secțiuni separate a capitolului.

Algoritmii pot fi utilizați împreună cu alte module program, implementate în toolbox-ul VIBROTOOL, specifice rezolvării problemei CDD, dar și din categoria modulelor program pentru: (1) Prelucrarea primară a semnalelor (PRO); (2) Separarea ”oarbă” a surselor (BSS); (3) Analiza timp-frecvență (TFR), care contribuie la pre-prelucrarea primară a datelor de măsură, în scopul evidențierii producerii unor evenimente în datele primare, sau post-prelucrarea rezultatelor CDD obținute, în scopul validării producerii schimbărilor și diagnozei. Tabelul 2 prezintă programele demo pentru CDD realizate în această etapă. Alte detalii se pot găsi și în [1] și [6].

Tabel 2: Programele demo pentru CDD realizate în Etapa III a proiectului

Domeniul	Acronim program	Funcție
CDS	demomhyp	Detecția schimbărilor în parametri și/sau în dispersia zgomotului folosind metoda verosimilității maxime și o abordare de tip fereastră alunecătoare
CDS	demoglr	Detecția schimbărilor în starea unui sistem liniar utilizând testul raport de verosimilitate generalizat (GLR)
CDS	demomlr	Detecția schimbărilor în starea unui sistem liniar utilizând testul raport de verosimilitate marginalizat (MLR)

Capitolul 3, Validarea componentelor software CDD și optimizarea funcțională, face uz de testele efectuate în cadrul **Etapei a II-a** și **a III-a** proiectului, precum și de rezultatele obținute în urma simulărilor Monte Carlo a componentelor CDS ale modulului VIBROTOOL.

Anticipăm că în urma validării și optimizării funcționale, setul de programe va constitui o referință pentru rezolvarea problemei CDD. Biblioteca de programe, Toolbox-ul Matlab pentru CDD, conține în prezent următoarele categoriile de module software:

1. Programe pentru prelucrarea primară a semnalelor (PRO)
2. Programe pentru detecția schimbărilor și segmentare (CDS)
3. Programe pentru separarea ”oarbă” a surselor (BSS)
4. Programe pentru analiza timp-frecvență (TFR)

Cele 4 categorii de module program menționate contribuie împreună la rezolvarea completă a unei probleme CDD. Toolbox-ul Matlab este structurat sub forma unei colecții de funcții Matlab pentru rezolvarea problemelor CDD, însoțite de un număr de funcții auxiliare (simulare, reprezentare grafică, etc.) și de un număr de programe demo, pentru demonstrarea funcționalității funcțiilor Matlab implementate. După această etapă a proiectului, toolbox-ul Matlab pentru CDD va conține toate elementele de bază necesare rezolvării unei probleme de monitorizare și întreținere condițională a mașinilor rotative și constituie punctul de plecare pentru dezvoltarea de aplicații.

Toolbox-ul Matlab pentru CDD este operațional în mediul de lucru Matlab, versiunea 6.5, sau una superioară, și face apel la toolbox-urile Matlab: IDENT, destinat identificării sistemelor și SIGNAL, destinat prelucrării semnalelor. Componentele software CDD validate și optimizate din punct de vedere funcțional sunt prezentate în Tabelul 3.

Tabel 3: Componente Toolbox Matlab validate

Domeniul	Acronim program	Funcție
PRO	statpar	Calculul parametrilor statistici
PRO	specfour	Calculul spectrului de amplitudine Fourier
PRO	sfilt	Filtrarea semnalelor
CDS	chmean	Deteția schimbărilor în valoarea medie a unui semnal afectat de zgomot (change point estimation)
CDS	char1m	Deteția schimbărilor utilizând un singur model de tip AR
CDS	char2m	Deteția schimbărilor utilizând două modele de tip AR și o fereastră mobilă
CDS	segmap	Deteția schimbărilor multiple și segmentarea semnalului folosind metoda probabilității maxime a posteriori (MAP)
CDS	cdmhyp	Deteția schimbărilor în parametri și/sau în dispersia zgomotului folosind metoda verisimilității maxime și o abordare de tip fereastră alunecătoare.
CDS	cdglr	Deteția schimbărilor în starea unui sistem liniar utilizând testul raport de verosimilitate generalizat (GLR).
CDS	cdmlr	Deteția schimbărilor în starea unui sistem liniar utilizând testul raport de verosimilitate marginalizat (MLR).
CDS	simch	Simularea unui model AR cu schimbări abrupte în parametri
CDS	rlse	Estimarea parametrilor unui model AR, a dispersiei zgomotului și a erorii de predicție la fiecare moment de timp, utilizând metoda celor mai mici pătrate
CDS	plots	Reprezentarea grafică a parametrilor estimați și a parametrilor reali ai modelului
CDS	plotp	Reprezentarea grafică a semnalului segmentat

CDS	rlse_ssm	Realizează estimarea de tipul celor mai mici pătrate a vectorului de stare, dispersiei zgomotului și a erorii de predicție pentru datele intrare-ieșire și matricea de structura a modelului de stare.
CDS	ssm_nnn	Realizează conversia modelului de stare (A,B,C,D,Q,R,P0) la matricea de structură a modelului (nnn)
CDS	nnn_ssm	Realizează conversia matricei structură a modelului (nnn) modelul de stare (A,B,C,D,Q,R,P0)
CDS	simch_ssm	Realizează simularea unui sistem liniar în spațiul stărilor cu schimbări abrupte în parametri.

BSS	sobi	Separarea "oarbă" a surselor în cazul mixărilor instantanee utilizand statistici de ordinul doi pentru semnale reale
BSS	jader	Separarea "oarbă" a surselor în cazul mixărilor instantanee utilizand statistici de ordin superior pentru semnale reale

TFR	tfrsp	Calculul spectrogramei
TFR	tfrwv	Calculul distribuției Wigner-Ville
TFR	tfrpww	Calculul pseudo-distribuției Wigner-Ville
TFR	tfrspww	Calculul pseudo-distribuției Wigner-Ville netezite
TFR	tfrcw	Calculul distribuției Choi-Williams
TFR	tfrridb	Calculul distribuției cu interferență redusă cu nucleu Bessel
TFR	tfrridbn	Calculul distribuției cu interferență redusă cu nucleu binomial
TFR	tfrridh	Calculul distribuției cu interferență redusă cu nucleu Hanning
TFR	tfrridt	Calculul distribuției cu interferență redusă cu nucleu triunghiular
TFR	tfrqview	Vizualizarea rapidă a reprezentării timp-frecvență
TFR	margtfr	Calculul marginalelor și a energiei unei reprezentări timp-frecvență
TFR	momtfr	Calculul momentelor de ordinul 1 și 2, în frecvență, ale reprezentării timp-frecvență
TFR	momtfr	Calculul momentelor de ordinul 1 și 2, în timp, ale reprezentării timp-frecvență.
TFR	renyi	Calculul măsurii informației Rényi
TFR	renyent	Calculul entropiei Rényi normalizate de ordin 3

Capitolul 4 se referă la **Evaluarea metodelor CDS implementate prin simulări Monte Carlo**. Evaluarea algoritmilor de detecție poate fi realizată fie pe date reale, fie pe date simulate, când momentele producerii unei schimbări sau parametrului reali ai modelului se cunosc. Este de dorit ca obținerea momentelor producerii schimbării să se facă cât mai rapid (întârzierea la detecție), iar numărul de alarme false să fie cât mai redus. Compromisul inerent în toate metodele de detecție constă în minimizarea simultană a ratei de producere a schimbărilor false și a întârzierii la detecție.

Procedura frecvent utilizată pentru evaluarea performanțelor metodelor de detecție face apelul la simularea Monte-Carlo. Aceasta constă, în principal, în simularea procesului ce face obiectul investigației utilizând diferite realizări ale zgomotului de măsură (de regulă sute de astfel de realizări) de diferite niveluri, și, apoi, în detecția schimbărilor în semnalul rezultat în urma simulării. Pe baza acestor rezultate se poate construi histograma momentelor de detecție estimate, care furnizează informații cu privire la măsurile critice menționate anterior. Programele de simulare Monte Carlo, pentru evaluarea performanțelor metodelor CSD, implementate în Toolbox-ul Matlab VIBTOTOOL, se prezintă în Tabelul 3.

Tabel 4: Programe Matlab pentru CDD utilizate în simularea Monte Carlo

Domeniul	Acronim program	Funcție
CDS	mcarlo_mean	Detectia schimbărilor în valoarea medie a unui semnal simulat, afectat de zgomot, (change point estimation)
CDS	mcarlo_1m	Detectia schimbărilor într-un semnal simulat, afectat de zgomot, utilizând un singur model de tip AR
CDS	mcarlo_2m	Detectia schimbărilor într-un semnal simulat afectat de zgomot, utilizând două modele de tip AR și o fereastră mobilă
CDS	mcarlo_seg	Detectia schimbărilor multiple și segmentarea unui semnal simulat, afectat de zgomot, folosind metoda probabilității maxime a posteriori (MAP)
CDS	mcarlo_mhyp	Detectia schimbărilor în parametri și/sau în dispersia zgomotului folosind metoda verisimilității maxime și o abordare de tip fereastră alunecătoare.
CDS	mcarlo_glr	Detectia schimbărilor în starea unui sistem liniar utilizând testul raport de verosimilitate generalizat (GLR).
CDS	mcarlo_mlr	Detectia schimbărilor în starea unui sistem liniar utilizând testul raport de verosimilitate marginalizat (MLR).

Capitolul 5, intitulat **Metode avansate de tip „sparse computing” pentru CDD**, prezintă o soluție bazată pe algoritmi din sparse computing pentru rezolvarea problemei CDD. Cei mai mulți algoritmi pentru detectia schimbărilor consideră datele observate, independente și identic distribuite, motiv pentru care aceștia nu mai sunt viabili atunci când procesul generează semnale independente, fiecare semnal în acest caz fiind caracterizat de o structură deterministă care nu poate fi descrisă printr-un model unic (de exemplu, situațiile în care semnalele sosesc intermitent, sau sunt caracterizate în diferite moduri).

În acest context, modelarea matematică a semnalelor prin prisma vectorilor rari reprezintă o alternativă avantajoasă care oferă soluții rapide și optime. Prin vector rar înțelegem un vector care are „puține” elemente nenule adică semnalele conțin informație condensată. Soluția propusă în acest caz, pentru detectarea schimbărilor în procese, este de a modela condițiile staționare ca fiind reprezentări rare. În acest context, schimbările intervenite în procese sunt detectate prin apariția schimbărilor în reprezentările rare estimate ale semnalelor observate.

Există două categorii mari de algoritmi pentru rezolvarea problemei și anume: algoritmi „lacomi” (greedy) și aproximări (relaxări) convexe.

Pentru verificarea ipotezei teoretice propuse, privind detectia și diagnoza defectelor prin prisma vectorilor rari, au fost implementate o serie de funcții MATLAB (fișiere *.m) în cadrul unei biblioteci (toolbox) pe care o vom descrie, pe scurt, în continuare. Fișierele sunt prezentate în Tabelul 5.

Biblioteca realizată permite detectia apariției defectelor în cadrul proceselor vibratorii atunci când defectului îi este asociat un model în frecvență. Totodată, modelele asociate defectelor se presupun a avea un caracter rar. Așa cum a fost prezentat și în secțiunile precedente, această problemă de detectie a unui model asociat unei perturbații ce intervine în bunul mers al procesul industrial, poate fi abordată sub forma unei probleme de estimare spectrală. Algoritmii propuși în cadrul acestui toolbox acoperă cele două soluții aferente problemelor rare.

Tabel 5: Fișierele componente ale bibliotecii CDD-SC (Sparse Computing)

Denumire fișier	Descriere
Main	Fișierul în care utilizatorul specifică parametrii simulării
GenerateFaultPattern	Generează modelul defectului, a semnalului observat și a dicționarului
Algorithms	Fișierul în interiorul căruia sunt apelate funcțiile aferente algoritmilor propuși pentru găsirea soluțiilor convexe respectiv neconvexe
IterativeSoftPD	Funcție care implementată algoritmul primal dual de proximitate
IterativeHardThreshold	Funcție care implementată algoritmul de tip hard-thresholding
SpectralEstimFB	Funcție care implementează algoritmul de tip forward-backward
spike	Funcție care reprezintă grafic rezultatele sub forma unor impulsuri
Demo	Execută un exemplu pentru estimarea modelului defectului atunci când acestuia îi este asociat spectrul unui semnal modulat în amplitudine

Rezultatele obținute prin simulare în cazul unui semnal de vibrație de tip sinusoidal cu modulație de amplitudine și zgomot aditiv Gaussian, arată o superioritate netă a algoritmilor sparse în raport cu metodele bazate pe distanțe, specifice domeniului de recunoaștere a formelor. Un studiu de caz interesant a fost prezentat în [4].

Capitolul 6 se referă la **Extragerea trăsăturilor semnalelor de vibrație cu metode avansate bazate pe transformări**. Metoda generală pentru detecția schimbării și diagnoza bazată pe prelucrarea semnalelor, începe cu etapa de achiziție a semnalelor de vibrație și continuă cu etapele de procesare pentru definirea semnăturii echipamentului monitorizat, sau a unor componente individuale, cum este - de exemplu - o cutie de viteze. În acest context, metodele bazate pe transformări timp-frecvență (TTF) sau entropice (Renyi) (TE) sunt foarte utile. În multe din metodele de tip TTF, obiectul final prelucrat este o imagine. Detecția și diagnoza se fac pe baza interpretării formelor prezente în imaginile obținute, folosind tehnici specifice domeniului de recunoaștere a formelor cum sunt: segmentare, extragerea trăsăturilor sau clasificarea.

S-au prezentat trei categorii de trăsături: (1) trăsături statistice de tipul momentelor statistice de ordinul unu sau doi, atât în domeniul timp cât și frecvență; (2) trăsături informaționale, de tipul entropiei Renyi pentru evaluarea complexității semnalelor 2D și a numărului de componente independente ale semnalului de vibrație primar; (3) trăsături de clasă, prin detecția și mascarea artefactelor din transformările timp-frecvență uzuale, cum sunt Wigner sau Wigner-Ville.

Pentru trăsăturile de clasă s-a propus și evaluat un sistem automat menit să analizeze, detecteze și corecteze artefactele din imaginile timp-frecvență ale semnalelor de vibrație. Sistemul de detecție utilizează corelația dintre blocurile mici (imagini) dintr-o bază de date și imaginea de intrare, descompusă corespondent. Descompunerea poate fi statică, prin scanarea imaginii originale pe verticală și orizontală, sau dinamică, prin modificarea dimensiunii imaginii în funcție de conținut. Schema bloc a sistemului de analiză, detecție și mascare este prezentată în Fig. 2.

Sistemul lucrează în doi pași. În primul pas, sistemul construiește baza de date cu trăsături specifice semnalului prelucrat, $x(t)$, în principiu câte un semnal pentru fiecare clasă de defecte. Procesul de selecție este supervizat de un bloc de control (Control unit), care nu este însă prezentat în Fig. 2, din motive de simplitate a reprezentării. La al doilea pas, blocurile din imaginea analizată sunt comparate cu blocurile din baza de date. Odată determinat un block "defect", este filtrat sau mascat. Recunoașterea și calculul similarității dintre blocurile de tip imagine se face prin calculul inter-corelației. Dimensiunea blocurilor depinde de context, fiind de 100x100 în acest studiu.

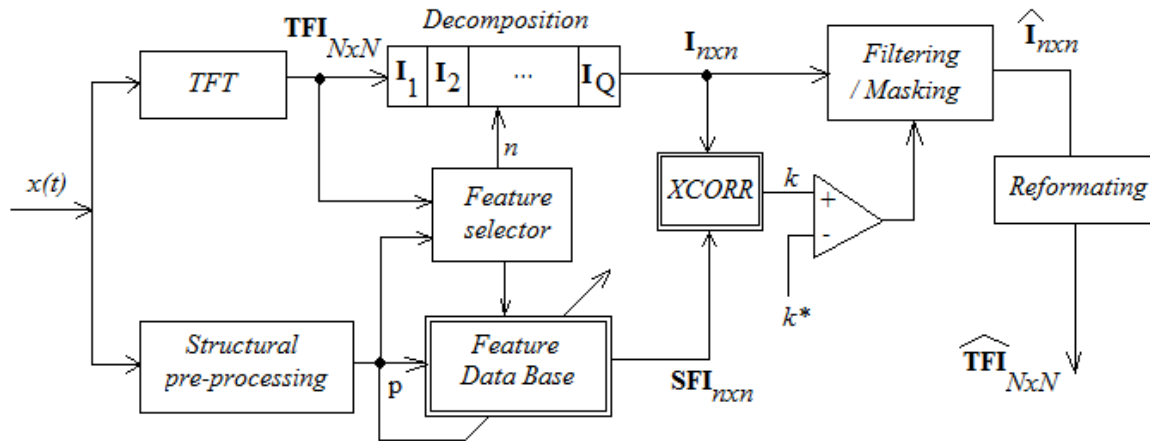


Fig. 2: Structura sistemului automat de detecție, analiză și filtrare

Performanța sistemului este acceptabilă pentru semnale cu componente bine separate în timp și frecvență, cum este cazul majorității semnalelor din domeniul mașinilor rotative. Dacă componentele reale și artefactele interferă, sistemul nu furnizează rezultatele așteptate. Fig. 3 prezintă imaginea asociată transformatei timp-frecvență (TFI) pentru cazul #8 (semnal cu trei componente independente) și rezultatele funcției de cross-corelare dintre TFI și blocurile ce descriu interferențele. Maximumul corelației indică poziția blocului cu cel mai mare grad de similitudine, ce trebuie prelucrat/mascat. În final, în Fig. 4, se prezintă efectul înlăturării a două blocuri de tip interferență din imaginea primară a transformatei timp-frecvență, pentru același caz #8. Mai multe detalii sunt disponibile în [5].

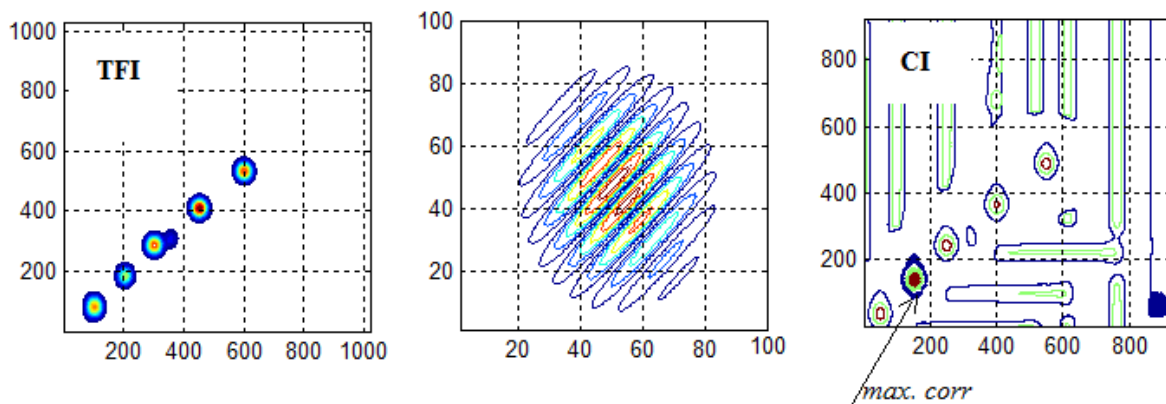


Fig. 3: Imaginea primară TFI și imaginea corelației dintre blocul interferență și TFI

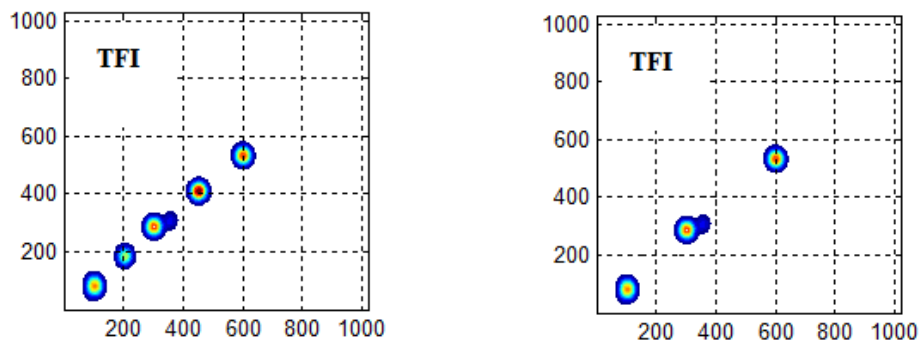


Fig. 4: Imaginile TFI primară și filtrată (corectată), caz #8.

Capitolul 7 prezintă **Construcția componentei VIBROMOD a modelului experimental**. S-a proiectat și construit componenta VIBROMOD a modelului experimental. S-a considerat o soluție bazată pe elemente PLC (Programmable Logic Controllers) în vederea încadrării în suma alocată execuției precum și pentru a asigura o integrare ușoară a VIBROMOD în instalații și echipamente industriale existente, pentru asigurarea mentenanței predictive prin metode de detecție și diagnoză a schimbării (CDD).

Structura de bază a componentei VIBROMOD precum și interacțiunea la nivel fizic cu celelalte componente ale modelului VIBROCHANGE este prezentată în Fig. 5. Sistemul de achiziție semnale este conceput pentru un număr de 4 - 6 canale de vibrații, cu achiziție și conversie sincrone, plus un canal suplimentar pentru viteza. PLC-ul va fi programat pentru achiziția semnalelor de la senzorii de vibrații și de turație, prelucrarea primară a acestora și transmiterea lor către nivelul superior (un calculator PC). Pe calculatorul de nivel 2 datele vor fi prelucrate folosind algoritmi de nivel superior. Detalii se pot găsi în lucrările [3] și [7].

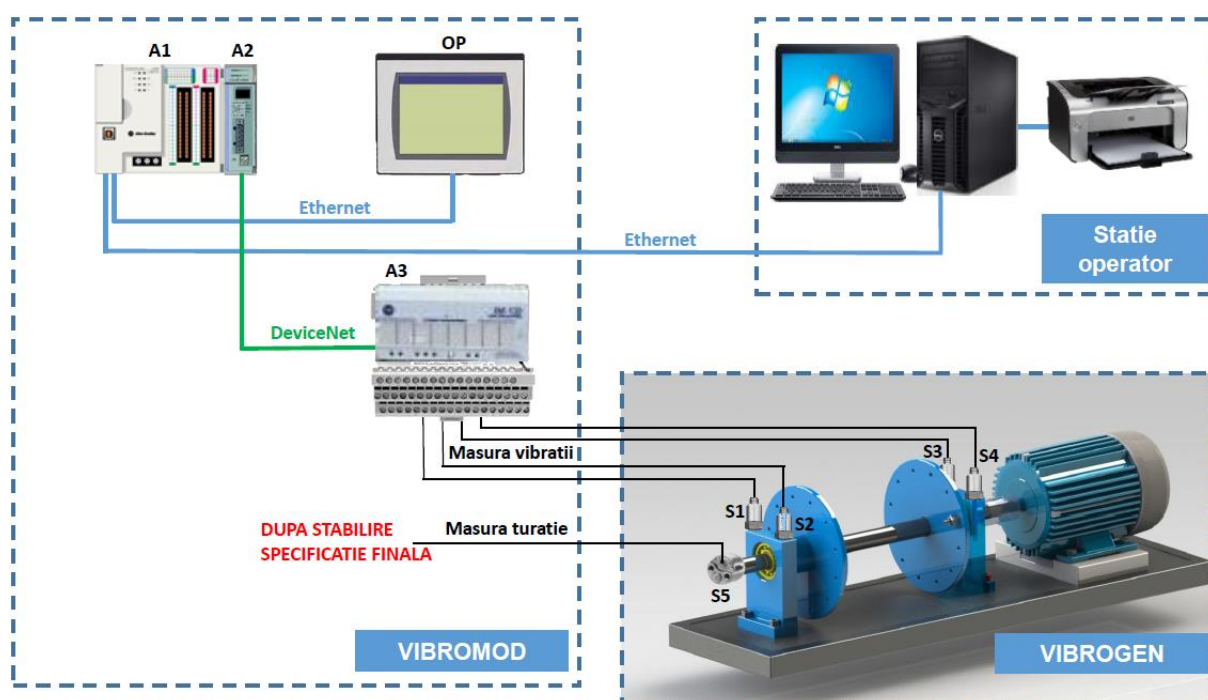


Fig. 5: Schema structurală a modelului experimental VIBROCHANGE

Capitolul 8 se referă la **Construcția sistemului de generare vibrații – VIBROGEN**, realizat pentru testarea sistemului și realizarea de experimentări în condiții de laborator, prin generarea vibrațiilor în condiții controlate de lucru (regim și sarcina). Structura platformei experimentale VIBROGEN este prezentată în Fig.6. Axul (14) este acționat de un motor asincron, trifazat (8), cu puterea 1,1 kW și turația maximă 2850 rot / min. Acționarea motorului asincron se face printr-un invertor (variator) de frecvență (5), tip BDI50, care primește comandă (referință pentru viteză și accelerație) de la un calculator personal prin interfață RS485-USB. Variatorul de turație poate fi reglat manual printr-o interfață analogică cu potențiometre. Variatorul de turație este alimentat la 230Vca, 50Hz, prin legătură monofazată. Acesta permite variația vitezei de rotație a arborelui. Traductorul absolut de rotație (4) cu o rezoluție de 26 biți, este folosit pentru măsurarea vitezei arborelui. Acesta este conectat direct la rețeaua DeviceNet fără a fi necesare adaptoare adiționale. Cuplajul elastic (7) permite pe de o parte preluarea unei eventuale nealinieri între axul motorului și axul

traductorului de rotație și pe de altă parte amortizarea vibrațiilor de înaltă frecvență generate de motor. Axul (14) este sprijinit pe 2 rulmenți cu bile montați în suportii (11). Cele 4 traductoare de accelerație (12) sunt fixate cu suport magnetic pe acești suporti, pentru a măsura semnalele de vibrație pe două direcții perpendiculare. Semnalele măsurate pe direcție verticală sunt utilizate pentru analiză, în timp ce semnalele măsurate pe direcție orizontală se utilizează pentru verificare.

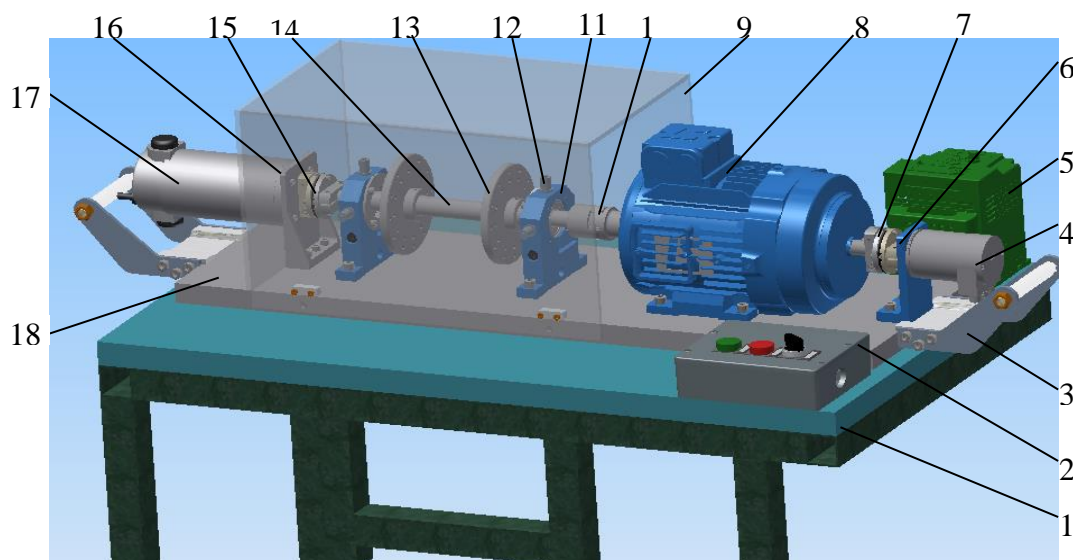


Fig. 6: Platforma experimentală VIBROGEN : 1. Masă cu structură metalică și blat rigid; 2. Panou de comandă; 3. Mâner transport; 4. Traductor de rotație; 5. Invertor (variator) de frecvență, tip BDI50; 6. Suport traductor de rotație; 7. Cuplaj traductor de rotație – motor; 8. Motor asincron trifazat; 9. Carcasă protecție; 10. Cuplaj flexibil motor – ax; 11. Suport rulment; 12. Accelerometru; 13. Disc de dexechilibru; 14. Ax; 15. Cuplaj elastic ax – motor de cc; 16. Suport motor de cc; 17. Motor de cc; 18. Placă de bază.

Capitolul 9 are ca obiectiv **Conversia unor funcții din Toolbox-ul Matlab pentru CDD (VIBROTOOL) în funcții pentru componenta VIBROMOD a modelului experimental**, ca urmare a sarcinii asumate, prin care o parte din funcțiile avansate ale toolbox-ului VIBROTOOL să fie implementate și testate și pe comonenta VIBROMOD. Aceste funcții au fost prezentate pe trei secțiuni:

1. Relații matematice de referință;
2. Exemple de rezultate obținute în Matlab;
3. Codul sursa Matlab, fără funcții dedicate, prezentate în Anexa 4.

Au fost avute în vedere următoarele funcții :

1. Extragerea anvelopei și estimarea frecvenței cu transformata Hilbert;
2. Analiza timp-frecvență cu transformata Wigner-Ville;
3. Extragerea trăsăturilor (localizare și dispersie) din imaginea timp-frecvență;
4. Extragerea informației prin calculul entropiei Renyi pentru semnale 1D și 2D.

Funcțiile noi specifice, ce implementează transformările de mai sus, sunt prezentate în Tabelul 6, iar codul sursa se găsește în Anexa 4 a RST extins. Funcțiile prezentate vor fi considerate în capitolul următor pentru implementare în limbajul Java. Fig. 7.a prezintă un exemplu de analiză (timp-frecvență) implementată cu funcții non-Matlab (deci fără funcții dedicate).

Tabel 6 : Funcții specifice (avansate) utilizate în VIBROMOD

Nr.	Nume funcție	Semnificație
1.	f_analitic.m	calculează semnalul analitic
2.	f_wvd.m	calculează distribuția Wigner-Ville (WVD)
3.	f_pwvd.m	calculează distribuția pseudo Wigner-Ville (PWVD)
4.	f_calcul_par_BT.m	calculează parametrii de localizare și formă
5.	f_localizare.m	localizează componenta principală a unui semnal

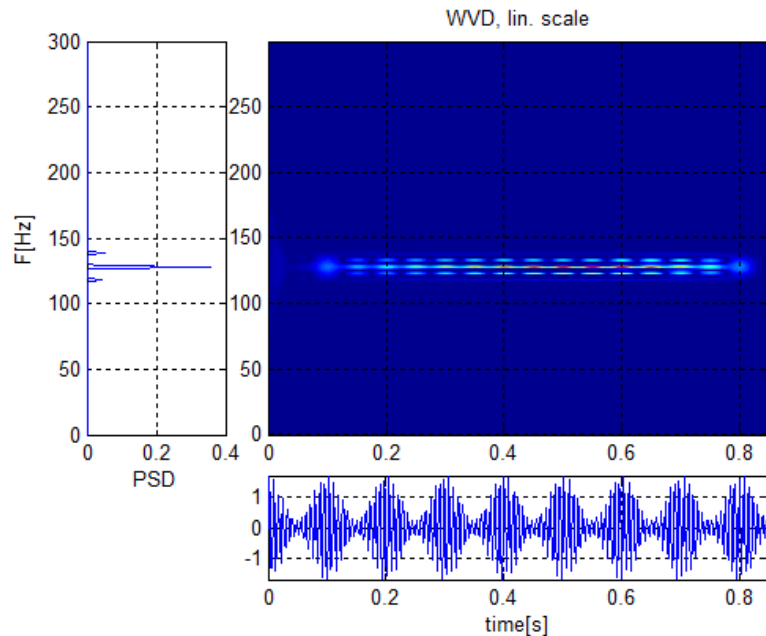


Fig. 7.a: Imaginea timp-frecvență pentru un semnal de vibrație, reprezentat printr-un semnal sinusoidal cu modulație în amplitudine

În Fig. 7.b și Fig. 7.c se prezintă exemple de funcții avansate ce vor fi implementate pe componenta VIBROMOD a modelului experimental. Pentru detectia de anvelopă se execută programul "P1_test_envelope.m", iar pentru estimarea frecvenței unui semnal periodic se execută programul "P2_test_frecventa.m". Pentru detalii se pot consulta lucrările [3] și [7].

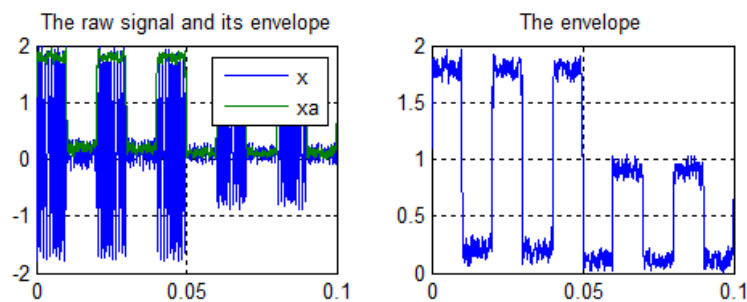


Fig. 7.b: Detectia de anvelopă

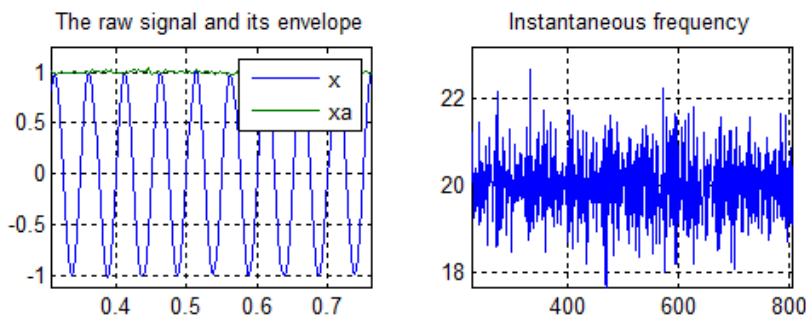


Fig. 7.c: Estimarea frecvenței instantanee;
 $f_{\text{real}} = 20 \text{ Hz}$; $f_{\text{estimat}} = 19.9842 \text{ Hz}$; Putere zgomot = 0.01 W.

Capitolul 10 are ca obiect **Proiectarea modulelor software pentru componenta VIBROMOD a modelului experimental**. În acest capitol a fost descris pachetul de programe pentru implementare pe VIBROMOD nivel 2 (Java).

Aplicația software este reprezentată de o interfață cu utilizatorul prin care pot fi vizualizate atât datele de intrare cât și cele prelucrate prin intermediul unui tabel și a unor grafice reprezentative pentru modulele de prelucrare. Tabelul va fi, ulterior, conectat la o bază de date în care vor fi stocate informațiile relevante pentru proces. S-a realizat descrierea funcțiilor implementate, așa cum au fost prezentate în Capitolul 9. Dimensiunea tuturor semnalelor create pentru simulare se poate alege prin înserarea numărului dorit, în prima fereastră ce se deschide după apelarea funcției. Interfața minimală dezvoltată până la momentul actual conține tabelul cu variabilele de interes, un buton de printare, unul de avarie și unul de help.

Ferestrele grafice pentru reprezentare 2D au opțiuni de minimizare / maximizare / autoscalare, de afișare a coordonatelor unui punct selectat din grafic, de export în diferite formate, printare și schimbare de culoare pentru a facilita analiza și diagnoza. Opțiunile se pot accesa apăsând butonul drept al mouse-ului pe grafic.

Ferestrele grafice pentru reprezentare 3D (mesh) au aceleași opțiuni precum cele 2D, în schimb, ele pot fi rotite în jurul axelor (x,y,z). De asemenea, se poate schimba modul de reprezentare al axelor: liniar vs logaritmic.

Testarea funcționării și a eficienței algoritmilor a fost efectuată pentru toate modulele, utilizând date sintetice și comparând ieșirile cu rezultatele obținute în mediul Matlab. Rezultatele obținute în limbajul de nivel 2 sunt mai bune, datorită faptului că nu există erori de aproximare (variabilele folosite sunt de tip double : precizie dublă, 64 bit).

În cadrul acestui capitol s-a prezentat și implementarea funcțiilor. Au fost create clase specifice pentru fiecare modul în parte, fiecare având metode proprii de calcul. O metodă (funcție) este o colecție de instrucțiuni, grupate astfel încât să conducă la rezultatul dorit.

Pentru declararea datelor de intrare precum și a variabilelor folosite în cadrul prelucrărilor, s-a ales folosirea tipului de date double – numere reale, reprezentate în virgulă mobilă, cu dublă precizie (reprezentate pe 64 de biți), față de tipul de date float (reprezentat pe 34 de biți). Tipul de date folosit în mod automat în Matlab este de asemenea de tip double.

Pentru reprezentarea numerelor complexe a fost creată clasa `Complex`, ce crează obiecte de tip `Complex`, precum și diferite prelucrări uzuale asupra acestui tip de date. Un astfel de obiect este de forma $a+ib$, unde a și b sunt numere reale, și reprezintă partea reală, respectiv partea imaginară a unui număr complex. Pentru a utiliza obiecte de acest tip, au fost realizate metode pentru afișare, adunare, scădere, înmulțire, împărțire, conjugare, modul, extragerea părții imaginare/reale etc.

În cadrul metodelor avansate de prelucrare a datelor, este necesară returnarea mai multor parametri în urma apelului unei funcții. Pentru a facilita implementarea, construcția interfeței grafice și a graficelor, s-a ales realizarea în cadrul aceleași clase (de ex.: `P2_TF.java`) a mai multor metode, fiecare dintre acestea returnând câte un singur parametru. Fiecare astfel de metodă are o denumire sugestivă, de forma: `getParametru`, unde `parametru` reprezintă numele parametrului care urmează a fi returnat (de exp.: `getFmax(double[] f)` returnează parametrul `fmax`, `getD(int n, double ts)` returnează `D`, lungimea semnalului etc.). Astfel, este realizată o metodă primară de optimizare: codul este scris o singură dată, iar când se dorește folosirea acestuia, este apelată metoda echivalentă. Aceasta implementare modulară nu garantează minimizarea timpului de rulare, dar asigură ușurința înțelegerii modalității de implementare și facilitează o eventuală viitoare depanare.

Cu titlu exemplificativ, în Fig. 8 se prezintă rezultatele grafice ale unei transformări timp-frecvență, folosind funcții Matlab (ca referință) și Java (în modelul experimental).

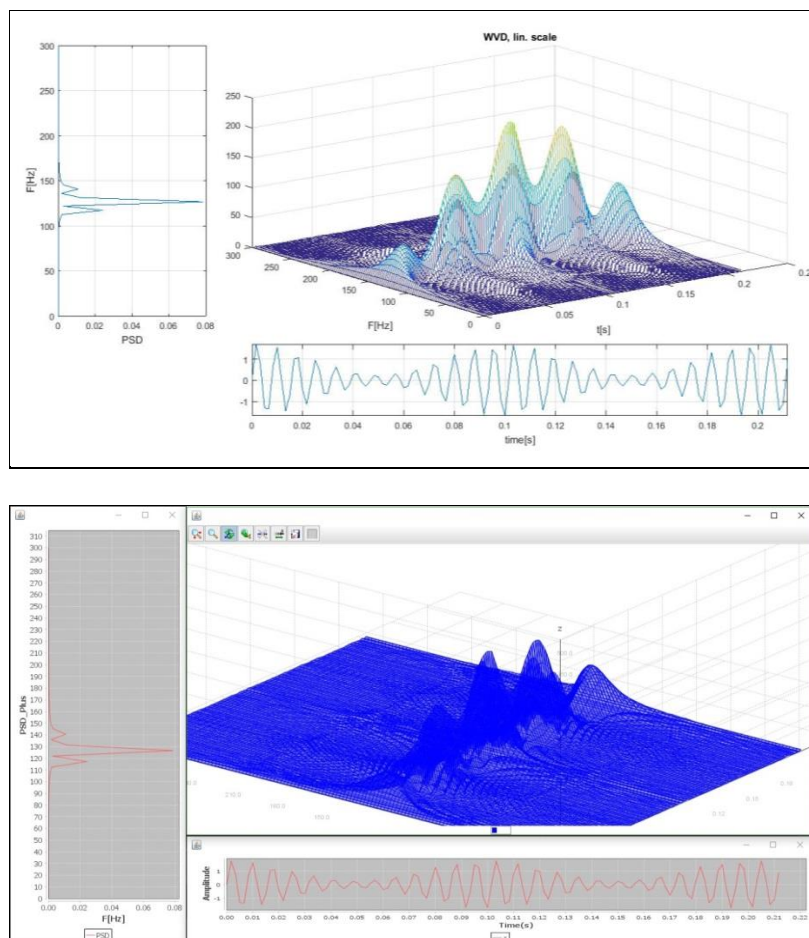


Fig. 8: Rezultate transformării timp-frecvență, folosind funcții Matlab și Java

Capitolul 11, Concluzii finale, vizează principalele rezultate obținute și recomandări făcute în urma cercetării ce a făcut obiectul acestei etape a proiectului, și care au fost menționate deja în secțiunile anterioare ale prezentului Raport Stiintific și Tehnic (RST) .

Raportul de cercetare extins conține **5 Anexe**, astfel:

Anexa 1. Lucrările prezentate și publicate, realizate în cadrul **Etapei a III-a** a proiectului

Anexa 2. Proiectul de execuție a sistemului VIBROGEN

Anexa 3. Proiectul de execuție a componentei VIBROMOD

Anexa 4. Funcții avansate implementabile în componenta VIBROMOD

Anexa 5. Funcții scrise în Java pentru componenta VIBROMOD

3. Diseminare

Rezultatele cercetărilor din cadrul Etapei a III-a a proiectului s-au concretizat sub forma unor lucrări prezentate și publicate la diferite manifestări științifice internaționale, majoritatea referite în Web of Science (WOS), după cum urmează:

- [1]. Bogdan Dumitrascu, Dorel Aiordachioaie, and Theodor D. Popescu, *VIBROTOOL – A Matlab Toolbox for Change Detection and Diagnosis in Vibration Engineering*, The 13th IEEE International Conference on Development and Application Systems, (DAS-2016) Suceava, Romania, May 19-21, 2016, pp. 6-9. ([ISI Proceedings](#))
- [2]. Dorel Aiordachioaie and Bogdan Dumitrascu, *On the Change Detection Methods with Sensitivity at Variance of the Processed Signal*, The IEEE 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP-2016), in Vienna, Austria, June 27-29, 2016, pp. 417-420, 2016. ([ISI Proceedings](#))
- [3]. Dorel Aiordachioaie, Theodor D. Popescu, *VIBROMOD – An Experimental Model For Change Detection and Diagnosis Problems*, Workshop on New Perspectives in Measurements, Tools and Techniques for system's reliability, maintainability and safety, (IMEKO-2016), Milano, Italia, 2016. ([BDI Proceedings](#)).
- [4]. Anisia Culea –Florescu, Dorel Aiordachioaie, *Some Results on Change Detection Based on Advanced Signal Processing Paradigm*, The IEEE International Conference – 8th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence, (ECAI-2016), 30 June-02 July, 2016, Bucharest, România, pp. 1-6. ([ISI Proceedings](#))
- [5]. Dorel Aiordachioaie, *On Time-Frequency Image Processing for Change Detection Purposes*, 7th International Workshop on Soft Computing Applications, 24-26 August 2016 Arad, Romania (SOFA-2016), paper 18. ([ISI Proceedings](#))
- [6]. Dorel Aiordachioaie, and Theodor D. Popescu, *VIBROTOOL - Software Tool for Change Detection and Diagnosis in Vibration Signals*, IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS-2016), 16-19 October 2016, Abu Dhabi, United Arab Emirates (UAE), pp. 640-643, 2016. ([ISI Proceedings](#))
- [7]. Iulian Nacu, Laurentiu Luca, Nicu Roman, and Dorel Aiordachioaie, *On VIBROMOD – An Electronic Equipment for Data Vibration Measurement and Analysis*, The 22nd IEEE

International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME-2016), Oradea, 20-23 October, 2016. ([ISI Proceedings](#))

- [8]. Theodor D. Popescu and Dorel Aiordachioaie, *Robust change detection in signals using energy concentration and regression models*, 13th IEEE International Conference on Signal Processing (ICSP-2016), 6-10 November 2016, Chengdu, China, pp. 1707-1713. ([ISI Proceedings](#))

Din cele 8 lucrări, 7 sunt la manifestari cu volume ISI Proceedings. De asemenea, au mai fost elaborate 2 lucrări destinate publicării în două reviste Springer, aflate în curs de evaluare.

4. Activități viitoare

Rezultatele obținute în această etapă au creat premisele finalizării în bune condiții a **Etapei a IV-a** a proiectului, finală, ce are drept scop principal testarea experimentală pe instalații pilot în laborator și pe un proces sau cu date reale industriale a modelului experimental VIBROCHANGE, elaborat în cadrul proiectului.

În ceea ce privește componenta toolbox Matlab pentru CDD, VIBROTOOL, metodele propuse vor fi testate cu date reale generate de sistemul de testare VIBROGEN, în diverse scenarii de experimentare, privind defectele lagărelor și ale arborilor mașinilor rotative investigate, precum și cu date reale din medii industriale. Rezultatele obținute cu aceste metode vor fi comparate cu cele disponibile în literatura de specialitate.

Se va finaliza componenta modul VIBROMOD, echipament fizic independent, bazat pe o aplicație software, pentru CDD, prin conectarea ei la sistemul de testare și la celelalte module, aferente nivelurilor doi și trei ale aplicației software generale.

În concluzie la cele prezentate, ca urmare a rezultatelor obținute în cadrul prezentei etapei a proiectului, care fac obiectul prezentului Raport Științific și Tehnic (RST), se poate considera că **obiectivele generale și specifice ale Etapei a III-a a proiectului VIBROCHANGE au fost îndeplinite în totalitate.**

Galați, 26.11.2016

Director proiect,

Prof. Dr. Ing Dorel Aiordăchioaie