

# TEZĂ DE ABILITARE

**Conferențiar Cătălin Dumitrescu**

## REZUMAT

Necesitatea de a crea idei inovatoare, de a utiliza o gândire creativă, critica, de tip „open mind / outside the box” reprezintă elementul cheie al unei dezvoltări economice sustenabile, iar în acest context domeniul de cercetare-dezvoltare-inovare (CDI) trebuie să dețină rolul prioritar. Fără strategii dinamice pentru CDI, companiile pierd oportunitatea de unică diferențiere față de competitorii lor.

Teza de abilitare „*Optimizarea detectorilor cu structură impusă. Aplicații ale planului timp – frecvență*” prezintă, în sinteză, o parte din rezultatele activității mele de cercetare, fiind evidențiate principalele momente din parcursul meu profesional, cu accent pe cele mai importante realizări și contribuții personale în planul cercetării și al publicațiilor științifice obținute în proiectele derulate, în special, după trecerea în rezervă din funcția de ofițer – cercetător științific în domeniul Apărării și Securității.

Pe parcursul a peste 25 ani de activitate profesională, am activat în două etape de cercetare: initial, până în anul 2015, în calitate de ofițer cercetator în Sistemul Național de Apărare și, ulterior, în domeniul Academic și de cercetare (CDI).

În prima etapă a activității profesionale am lucrat și am derulat proiecte de cercetare în domeniul de prelucrare, analiză și clasificarea semnalelor și imaginilor multidimensionale mascate în surse mixte de zgomot, analiză de Forensic și imagistică satelitară. În a doua etapă, pe lângă domeniile menționate anterior, mi-am adus contribuția și în domeniile de imagistică medicală, analiza undelor cerebrale și Brain Computer Interface (Interacțiunea Om - Mașină utilizând undele cerebrale).

Am obținut titlul de Doctor în Inginerie Electronică și Telecomunicații în anul 2005, la Universitatea POLITEHNICA din București, atestat seria D, nr. 0002734 (Nr. 5657 din 12.12.2005).

Structura tezei de abilitare respectă normele metodologice aprobate prin Ordinul Ministrului Educației Naționale - OM Nr. 3121 din 25 ianuarie 2015 - publicat în *Monitorul Oficial* al României, partea I, nr. 107/10.II. 2015 și prin Ordinul Nr. 5225 / 2020 din 17 august 2020 – publicat în *Monitorul Oficial* Nr. 783 din 27 august 2020.

Alegerea temei pentru această teză de abilitare este strâns corelată cu domeniul meu de activitate profesională și științifică: în procesul de cercetare am constatat că, într-un număr

mare de situații, nu dispunem de aportul informațional pe care îl putem obține din cunoașterea proprietăților statistice ale eșantioanelor de semnal pentru fiecare ipoteză aflată în lucru. În aceste condiții, un caz sub-optimal posibil constă în definirea prealabilă a naturii statisticii de detecție, urmată de optimizarea parametrilor caracteristici pe baza unui criteriu impus. Din aceste considerente, această etapă este denumită – *detecția cu structură impusă*.

Problemele întâlnite de-a lungul anilor de cercetare științifică pentru elaborarea unor criterii de detecție sunt, în general, legate de dificultatea de a răspunde la următoarele întrebări:

- Cum alegem modelul statisticii de detecție?
- Care sunt criteriile optime pentru determinarea parametrilor caracteristici aferenți modelului statistic?
- Ce procedură de optimizare se va adopta?

Răspunsurile la aceste întrebări au fost concretizate în următoarele *contribuții personale*:

- dezvoltarea unui algoritm privind *recursivitatea și realocarea reprezentărilor timp-frecvență* din clasa Cohen (spectrograma realocată), dar în special cel al distribuțiilor pseudo Wigner-Ville;
- realizarea unui algoritm privind *sinteza cu structură impusă pentru analiza reunită timp-frecvență*;
- realizarea unui algoritm pentru *utilizarea recursivității în procesul de realocare al spectrogramei și al distribuțiilor Wigner-Ville urmărind reducerea timpului de calcul necesar aplicării acestei metode*;
- determinarea condițiilor necesare pentru *realizarea unui detector cu structură impusă* utilizând elemente din teoria învățării (Inteligență Artificială) și a recunoașterii formelor;
- realizarea *optimizării detectorilor cu structură impusă prin utilizarea rețelelor neuronale artificiale* (pentru selectarea componentelor care influențează procesul de învățare).

Am dezvoltat acești algoritmi deoarece corespund condițiilor extragerii semnalelor și imaginilor multidimensionale mascate în surse mixte de zgomot puternic pentru detecția, analiza, clasificarea și localizarea (estimarea poziției pe care o are / a avut-o ținta). De asemenea, aceste condiții le-am întâlnit și în cazul analizei undelor cerebrale, în mod special la detecția semnalului tranzitoriu *complex K* din electroencefalograma (EEG) somnului. Detecția *complexului K* reprezintă o problemă relativ dificilă, nefiind raportate în literatura de specialitate metode de evidențiere absolut sigure ale acestuia. Metoda de investigare a *complexului K* pe care am dezvoltat-o permite *realizarea unui sistem automat pentru detecția și clasificarea complexului K aperiodic* care apare în stadiul doi al somnului din EEG, cu o

probabilitate foarte bună față de cercetările similare raportate în literatura de specialitate. De asemenea, am reușit să aduc o modestă contribuție în domeniul utilizării transformărilor wavelet în prelucrarea digitală a semnalelor, domeniu aflat într-o continuă și dinamică dezvoltare.

Realizările din domeniul wavelet sunt concretizate în următoarele *contribuții personale*:

- am propus o *modalitate de creștere a performanțelor prin filtrarea cu mai multe seturi de coeficienți wavelet și medierea rezultatelor*
- *implementarea filtrului Wiener multiplu în domeniul wavelet*, dezvoltând un nou *filtru Wiener iterat* pentru a obține super-rezoluția din imagini în combinație cu rețelele neuronale artificiale, necesari în analiza imaginilor satelitare și medicale.
- mi-am adus contribuția la *utilizarea aplicării simulatne a trunchierii soft a coeficienților wavelet și a filtrelor Wiener și Lee pentru îmbunătățirea calității imaginilor*, arătând, pe bază rezultatelor obținute, că în această situație rezultatele sunt superioare celor obținute prin utilizarea separată a fiecăreia dintre cele două metode.

Rezultatele obținute în urma cercetărilor, începând cu anul 2015, au fost diseminate într-un număr de peste 60 de publicații științifice, dintre care cele mai relevante au fost *publicate în următoarele reviste cu factor de impact*: MDPI *Sensors* IF 3.576 (Q1), MDPI *Mathematics* IF 1.747 (Q1), MDPI *Applied Sciences* IF 2.679 (Q2), MDPI *Materials* IF 3.623 (Q1).

De asemenea, algoritmi propuși și publicați în jurnalele de specialitate au fost *citați în următoarele reviste cu factor de impact*: MDPI *Energies* IF 2.702, Wiley *Energy Research* IF 3.741, MDPI *Mathematics* IF 2.258, ELSEVIER *Expert System with Applications* IF 6.954, MDPI *Sustainability* IF 3.251, ELSEVIER *Sustainable Computing* IF 4.028, *Journal of the Acoustic Society of America* IF 1.840, MDPI *Sensors* IF 3.576, MDPI *Electronics* IF 2.397 și *Journal of Alzheimer's Disease* IF 4.472.

Pe baza rezultatelor obținute în activitățile de CDI am depuse la OSIM 5 *cereri de brevet* și am obținut 35 de *premiu la saloanele internaționale de invenție*.

În anul 2021, ca o recunoaștere a contribuției pe care am adus-o în domeniul analizei semnalelor acustice, invenția „*System and Method for Detection Active Unmanned Aircraft System (UAS) by Deep Learning Analysis of Microphone Array and Capture Images*”, prezentată la salonul internațional de invenție *iCAN*, Canada, a fost promovată în *TOP 10*

*BEST INVENTION AWARDS* și am primit *Certificatul de Excelență pentru recunoașterea creativității și a algoritmilor dezvoltați în cadrul invenției.*

Începând cu anul 2015, am început activitatea universitară în calitate de *cadru didactic titular* (Șef de Lucrări) în Departamentul de Telecomenzi și Electronică în Transporturi, Facultatea de Transporturi, Universitatea POLITEHNICA București, susținând cursurile *Elemente de Inteligență Artificială, Elemente de Inteligență Artificială cu aplicabilitate în Sistemele Inteligente de Transport, Cercetări Operaționale și Metode de Optimizare* pentru programele de master și cursurile *Metode Numerice II, Sisteme de Telecomunicații în Transporturi* pentru programul de licență. În anul 2021 *am promovat examenul de obținere a gradului didactic de conferențiar.*

Teza de abilitare, redactată în acord cu prevederile legale, este structurată în două secțiuni: *secțiunea întâi* prezintă realizările științifice, profesionale și academice, pe următoarele direcții: capitolul 1 – *parcursul profesional*, capitolul 2 – *activitatea didactică*, capitolul 3 – *parcursul în cercetare științifică* (evoluția, publicații / comitete științifice, proprietate intelectuală, premiile obținute la saloanele internaționale de invenție), capitolul 4 – *prezentarea proiectelor de cercetare – dezvoltare internațional și național la care am participat*, capitolul 5 – *prezentarea rezultatelor științifice relevante obținute. Secțiunea a doua* are în vedere planurile de evoluție și dezvoltare a cariere profesionale, științifice și academice, precum și identificarea noilor direcții de cercetare/predare.

În finalul tezei de abilitare sunt prezentate referințele bibliografice asociate capitolului 5.

Din punct de vedere profesional, îmi propun să obțin acreditarea de Conducător de doctorat în domeniul Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației și să devin un mentor pentru viitorii cercetători prin promovarea de teme inovative de cercetare, despre care am convingerea că vor genera plus valoare la nivel național și internațional.

# HABILITATION THESIS

## ABSTRACT

The need to create innovative ideas, to use creative, critical thinking, of the "open mind / outside the box" type, is the key element of a sustainable economic development, and in this context the field of research-development-innovation (R&D) must be to have the priority role. Without dynamic strategies for R&D, companies lose the opportunity to differentiate themselves from their competitors.

Habilitation thesis "*Optimization of detectors with imposed structure. Applications of the time-frequency plan*" present, in summary, some of the results of my research activity, highlighting the main moments of my career, with emphasis on the most important achievements and personal contributions in terms of research and scientific publications obtained in projects carried out, in particular, after the transfer from the position of officer - scientific researcher in the field of Defense and Security.

During over 25 years of professional activity, I worked in two stages of research: initially, until 2015, as a research officer in the National Defense System and, later, in the field of Academic and Research (R&D).

In the first stage of my professional activity I worked and carried out research projects in the field of processing, analysis and classification of signals and multidimensional images masked in mixed noise sources, Forensic analysis and satellite imaging. In the second stage, in addition to the fields mentioned above, I also contributed in the fields of medical imaging, brain wave analysis and Brain Computer Interface (Human-Machine Interaction using brain waves).

I obtained the title of Doctor in Electronic Engineering and Telecommunications in 2005, at the POLITEHNICA University of Bucharest, certified series D, no. 0002734 (No. 5657 of 12.12.2005).

The structure of the habilitation thesis respects the methodological norms approved by the Order of the Minister of National Education - OM Nr. 3121 of January 25, 2015 - published in the Official Gazette of Romania, part I, no. 107 / 10.II. 2015 and by Order No. 5225/2020 of August 17, 2020 - published in the Official Gazette no. 783 of August 27, 2020.

The choice of topic for this habilitation thesis is closely correlated with my field of professional and scientific activity: in the research process I found that, in a large number of situations, we do not have the informational input that we can obtain from knowing the statistical properties

of signal samples for each working hypothesis. Under these conditions, a possible sub-optimal case is the prior definition of the nature of the detection statistics, followed by the optimization of the characteristic parameters based on an imposed criterion. For these reasons, this stage is called - detection with the required structure.

The problems encountered over the years in scientific research for the development of detection criteria are generally related to the difficulty of answering the following questions:

- How do we choose the detection statistics model?
- What are the optimal criteria for determining the characteristic parameters related to the statistical model?
- What optimization procedure will be adopted?

The answers to these questions have been translated into the following personal contributions:

- development of an algorithm on recursion and reallocation of time-frequency representations from the Cohen class (reallocated spectrogram), but especially that of pseudo Wigner-Ville distributions;
- realization of an algorithm regarding the synthesis with imposed structure for the reunited time-frequency analysis;
- development of an algorithm for the use of recursion in the reallocation process of the Wigner-Ville spectrogram and distributions aiming at reducing the computation time necessary for the application of this method;
- determining the necessary conditions for the realization of a detector with imposed structure using elements from the theory of learning (Artificial Intelligence) and the recognition of shapes;
- optimizing the detectors with the required structure by using artificial neural networks (to select the components that influence the learning process).

We developed these algorithms because they correspond to the conditions of extracting signals and multidimensional images masked in mixed sources of loud noise for detection, analysis, classification and location (estimating the position it has / had its target). We also encountered these conditions in the analysis of brain waves, especially in the detection of the K-complex transient signal in the electroencephalogram (EEG) of sleep. The detection of the K complex is a relatively difficult problem, as no absolutely reliable methods of highlighting it are reported in the literature. The method of investigation of the K complex that we developed allows the realization of an automatic system for the detection and classification of the aperiodic K complex that appears in the second stage of sleep in the EEG, with a very good probability

compared to similar research reported in the literature. I also managed to make a modest contribution in the field of using wavelet transformations in digital signal processing, an area in a continuous and dynamic development.

Achievements in the wavelet field are embodied in the following personal contributions:

- we proposed a way to increase performance by filtering with several sets of wavelet coefficients and mediating the results;
- implementation of the multiple Wiener filter in the wavelet field, developing a new iterated Wiener filter to obtain super-resolution from images in combination with artificial neural networks, necessary in the analysis of satellite and medical images;
- I contributed to the use of the simulated application of soft truncation of wavelet coefficients and Wiener and Lee filters to improve image quality, showing, based on the results obtained, that in this situation the results are superior to those obtained by using each of them separately. two methods.

The results of the research, starting with 2015, have been disseminated in more than 60 scientific publications, the most relevant of which have been published in the following *journals with impact factor*: MDPI *Sensors* IF 3,576 (Q1), MDPI *Mathematics* IF 1,747 (Q1), MDPI *Applied Sciences* IF 2,679 (Q2), MDPI *Materials* IF 3,623 (Q1).

Also, the algorithms proposed and published in journals have been *cited in the following journals with impact factor*: MDPI *Energies* IF 2,702, *Wiley Energy Research* IF 3,741, MDPI *Mathematics* IF 2,258, *ELSEVIER Expert System with Applications* IF 6,954, MDPI *Sustainability* IF 3,251, *ELSEVIER Sustainable Computing* IF 4,028, *Journal of the Acoustic Society of America* IF 1,840, MDPI *Sensors* IF 3,576, MDPI *Electronics* IF 2,397 and *Journal of Alzheimer's Disease* IF 4,472.

Based on the results obtained in the RDI activities, I filed 5 *patent applications* with OSIM and won 35 *awards at international invention competitions*.

In 2021, in recognition of the contribution we have made in the field of acoustic signal analysis, the invention "*System and Method for Detection Active Unmanned Aircraft System (UAS) by Deep Learning Analysis of Microphone Array and Capture Images*", presented at *iCAN International Inventory*, Canada, was promoted to the *TOP 10 BEST INVENTION AWARDS* and received the *Certificate of Excellence for Recognition of Creativity and Algorithms Developed in the Invention*.

Starting with 2015, I started my university activity as a *full professor* (Lecturer) in the Department Telematics and Electronics for Transports, Faculty of Transport, University POLITEHNICA of Bucharest, taking the courses *Elements of Artificial Intelligence*, *Elements of Artificial Intelligence with applicability in Intelligent Transport Systems*, *Operational Research and Optimization Methods* for master's programs and *Numerical Methods II*, *Telecommunications Systems in Transport* courses for undergraduate program. In 2021 I passed the exam for obtaining the teaching degree of Associate Professor.

The habilitation thesis, written in accordance with the legal provisions, is structured in two sections: the *first section* presents the scientific, professional and academic achievements, on the following directions: chapter 1 - *professional activity*, chapter 2 - *didactic activity*, chapter 3 - *evolution in scientific research* (evolution, scientific publications / committees, intellectual property, awards obtained at international invention fairs), chapter 4 - *presentation of international and national research - development projects* in which I participated, chapter 5 - *presentation of relevant scientific results obtained in R&D*. The *second section* considers the plans for the evolution and development of professional, scientific and academic careers, as well as the identification of new research / teaching directions.

At the end of the habilitation thesis are presented the bibliographic references associated with chapter 5.

From a professional point of view, I aim to obtain the accreditation of PhD Supervisor in the field of Electronics, Telecommunications and Information Technology and to become a mentor for future researchers by promoting innovative research topics, which I believe will generate added value at the level national and international.