

---

# Analysis and Knowledge Discovery in Multimodal and Multitemporal Data

---

Habilitation Thesis  
PhD domain: Electronic Engineering and  
Telecommunications

Anamaria Rădoi

Bucharest, 2023



---

# Summary

---

The present habilitation thesis describes in a concise manner the main scientific contributions of the author after obtaining the PhD degree in 2015. Considering the latest advancements in the Artificial Intelligence domain, the thesis focuses on multimodal and multitemporal data analysis, that represented the author's main direction of research for the last 11 years. In this context, contributions to several research topic areas, e.g. monomodal and multimodal satellite image time series analysis (including change detection, semantic segmentation, inter-modality translation) and multimodal signal classification, will be outlined, along with the scientific results that have been achieved. The thesis is structured as follows.

The first chapter presents a brief overview of the professional career, starting from the educational background and continuing with professional experience in terms of both didactic and research activity. A special focus is over the research projects that I managed in the last years (director / project responsible / key person), along with the coordination and evaluation of students' scientific work. The overview continues with my roles as scientific reviewer for various top ISI-indexed international journals and as external evaluator for European research proposals. In the last years, I have co-organized and co-chaired several special sessions under international conferences, with topics ranging from multivariate data analysis and knowledge discovery to multimodal signal processing and classification. Moreover, I have organized a scientific seminar-workshop focusing on time series analysis, with international participation (University Politehnica of Madrid, Istanbul Technical University), under the European Engineering Learning Innovation and Science Alliance (EELISA).

The second chapter addresses monomodal satellite image time series analysis in terms of: (i) optimal thresholding methods for change detection in bi-temporal remote sensing images, (ii) active learning methods for the semantic classification of satellite images, (iii) general to specific information extraction with Vision Trans-

formers for aerial image classification, and (iv) query-by-example retrieval in multitemporal satellite images. The contributions have been mainly developed by the author under "Unsupervised Analysis of Time Series" research project, i.e. a GEX grant awarded by University Politehnica of Bucharest (UPB).

The third chapter is focused on the contributions brought to multimodal satellite time series analysis; more precisely: (i) convolutional autoencoder and fractal-based image reconstruction of pre-event image in the post-event modality, (ii) Generative Adversarial Networks for inter-modality translation in the context of multimodal change detection and CutMix transformations, and (iii) interpretation and identification of anomalous events in multimodal satellite image time series using an extended concept for matrix profile. The contributions have been mainly developed by the author, as director / UPB project responsible, under two research projects, namely "Multimodal Data Mining in Satellite Image Time Series for Earth Observation" (PD axis) and "Transforming a Massive Volume of Data and Geospatial Information in Actionable Intelligence" (Solutii axis), both funded by UEFISCDI.

The fourth chapter presents several techniques for monomodal and multimodal signal analysis, with applications ranging from infant cry classification to multimodal emotion recognition. Emotion recognition is one of the main research topics for the human-computer interaction domain, with applications in intelligent retail and customer service, healthcare, employment, education, public safety and security, robots, and autonomous driving. In this regard, the author implemented an end-to-end multimodal emotion recognition framework, that fuses the information retrieved from videos and speech signals and performs a temporal aggregation of the extracted knowledge. The proposed approaches towards multimodal emotion recognition represent the starting point for the work developed under project "Multimodal Embedded System for Emotion Recognition" (MES-ER), funded by UEFISCDI (PED axis).

The didactic activity is presented in the fifth chapter and reflects the contributions brought to the bachelor courses that the author coordinates (i.e., Information Transmission Theory and Decision and Estimation in Information Processing) and also to the master courses that the author introduced (i.e., Statistical Signal Processing and Estimation Theory, Machine Learning for Autonomous Systems).

Chapter six is dedicated to the coordination and evaluation of students' scientific work, from Diploma projects, to Dissertation thesis and participation in students' scientific sessions. Moreover, the author has been a member in several Phd students' Advisory Committees and PhD Final Examination Committees.

Chapter seven concludes the habilitation thesis and emphasizes general aspects related to the future development of the author's professional career, in terms of prospective research and implication in forming the next generations of specialists in the domains of interest.

---

# Rezumat

---

Prezenta teză de abilitare descrie, într-o manieră concisă, principalele contribuții științifice ale autoarei după obținerea diplomei de doctor în 2015. Având în vedere cele mai recente progrese în domeniul Inteligenței Artificiale, teza se concentrează pe analiza datelor multimodale și multitemporale, care au reprezentat direcția de cercetare principală a autoarei în ultimii 11 ani. În acest context, contribuțiile aduse mai multor domenii de cercetare, ca, de exemplu, analiza seriilor temporale de imagini din satelitare monomodale și multimodale (inclusiv detectarea schimbărilor, segmentarea semantică, traducerea intermodală) și clasificarea semnalelor multimodale, vor fi discutate, împreună cu rezultatele științifice care au fost obținute. Teza este structurată după cum urmează.

Primul capitol prezintă o scurtă trecere în revistă a carierei profesionale, pornind de la etapele corespunzătoare procesului educațional și continuând cu experiența profesională atât în ceea ce privește activitatea didactică, cât și cea de cercetare. Un accent deosebit este plasat pe proiectele de cercetare pe care le-am gestionat în ultimii ani, ca director / responsabil de proiect / persoană cheie, alături de coordonarea și evaluarea activității științifice ale studenților. Prezentare generală continuă cu rolurile de recenzor științific pentru diferite reviste internaționale de top indexate ISI și de evaluator extern pentru propunerile de proiecte de cercetare europene. În ultimii ani, am fost co-organizator și co-chair în cadrul mai multor sesiuni speciale ale unor conferințe internaționale, cu subiecte ce acopereau o gamă vastă de teme de interes, de la analiza multivariată a datelor și descoperirea cunoștințelor până la procesarea și clasificarea multimodală a semnalelor. De asemenea, am organizat un seminar-workshop științific axat pe analiza serii temporale, cu participare internațională (Universitatea Politehnică din Madrid, Universitatea Tehnică din Istanbul), în cadrul European Engineering Learning Innovation and Science Alliance (EELISA).

Al doilea capitol abordează analiza seriilor temporale de imagini monomodale din satelit în termeni de: (i) metode de determinare a pragului optim pentru detectarea schimbărilor în imaginile bitemporale de teledetecție, (ii) metode de învățare activă pentru clasificarea semantică a imaginilor satelitare, (iii) extragerea de informații

specifice și general folosind Vision Transformers pentru clasificarea imaginilor aeri-ale, și (iv) interogarea pe bază de exemplu în imagini satelitare multitemporale. Contribuțiile au fost dezvoltate în principal de autoare în cadrul proiectului de cercetare "Analiza nesupervizată a seriilor temporale", un grant GEX acordat de Universitatea Politehnica din București (UPB).

Al treilea capitol este axat pe contribuțiile aduse analizei seriilor temporale mul-timodale prin satelit, mai precis: (i) autoencoder convoluțional și reconstrucția imaginilor bazată pe teoria fractală a imaginii pre-eveniment în modalitatea post-eveniment, (ii) Rețele generative adversariale pentru traducerea intermodală în con-textul detectării schimbărilor multimodale și al transformărilor CutMix, și (iii) inter-pretarea și identificarea evenimentelor anormale în serii temporale multimodale de imagini satelitare folosind o extindere a conceptului "matrix profile". Contribuțiile au fost dezvoltate în principal de către autoare, în calitate de director/responsabil de proiect UPB, în cadrul a două proiecte de cercetare și anume "Multimodal Data Min-ing in Satellite Image Time Series for Earth Observation" (axa PD) și "Transforming a Massive Volume of Data and Geospatial Information in Actionable Intelligence" (axa Soluții), ambele finanțate de UEFISCDI.

Capitolul al patrulea prezintă mai multe tehnici de analiză monomodală și mul-timodală a semnalului, cu aplicații variind de la clasificarea plânsului nou-născuților până la recunoașterea emoțiilor din date multimodale. Recunoașterea emoțiilor este unul dintre principalele subiecte de cercetare pentru domeniul interacțiunii om-calculator, cu aplicații în retail inteligent și servicii pentru clienți, asistență medicală, angajare, educație, siguranță și securitate publică, roboți și conducere autonomă. În acest sens, autoarea a implementat un cadru multimodal de recunoaștere a emoțiilor, care fuzionează informațiile preluate din videoclipuri și semnale de vorbire și rea-lizează o agregare temporală a cunoștințelor extrase. Abordările propuse pentru recunoașterea emoțională multimodală reprezintă punctul de plecare pentru activi-tatea desfășurată în cadrul proiectului "Multimodal Embedded System for Emotion Recognition" (MES-ER), finanțat de UEFISCDI (axa PED).

Activitatea didactică este prezentată în capitolul al cincilea și reflectă contribuțiile aduse la cursurile de licență pe care autoarea le coordonează (Teoria Transmisiunii Informației și Decizie și Estimarea în Prelucrarea Informației) și, de asemenea, la cursurile de master pe care autoarea le-a introdus (Prelucrarea Statistică a Sem-nalului și Teoria Estimării, Învățare Automată pentru Sisteme Autonome).

Capitolul șase este dedicat coordonării și evaluării activității științifice ale studen-ților, de la proiectele de diplomă, la lucrări de disertație și participare la sesiunile științifice ale studenților. Mai mult, autoarea a fost membru în cadru mai multor comisii de îndrumare ale doctoranzilor, precum și în comisii de doctorat.

Capitolul șapte încheie teza de abilitare și pune accent pe aspecte generale legate de dezvoltarea viitoare a carierei profesionale a autoarei, în ceea ce privește cer-cetarea viitoare și implicarea în formarea următoarelor generații de specialiști în domeniile de interes.