

Habilitation thesis  
Teza de abilitare

CONTRIBUTIONS TO BIOSIGNAL  
PROCESSING AND ANALYSIS  
CONTRIBUȚII LA PRELUCRAREA ȘI ANALIZA  
BIOSEMNALELOR

Prof. Dr. Ing. Georgeta-Mihaela NEAGU (UNGUREANU)

University POLITEHNICA of Bucharest  
Electronics, Telecommunications and Information Technology Faculty

Bucharest 2018

## I Rezumatul tezei de abilitare. Habilitation Thesis Abstract

### I.1 Rezumatul tezei de abilitare (4.000 – 6.000 caractere)

**(Caractere (fără spații) – 5.191, Caractere (cu spații) – 5.953)**

Prezenta teza de abilitare realizată de Dna Prof. Dr. Ing. Georgeta-Mihaela NEAGU (UNGUREANU) evidențiază contribuțiile originale ale autoarei în domeniul de abilitare, în prelucrarea biosemnalelor, în interdisciplinaritate cu domeniile prelucrarea semnalelor, electronică medicală, inteligență artificială și programare, contribuții aduse după conferirea titlului de doctor în Științe Inginerești în luna mai a anului 2002.

Autoarea este în prezent Profesor Universitar în cadrul Universității Politehnica din București (UPB), Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației (ETTI), Departamentul Electronică Aplicată și Ingineria Informației (EAI), fiind formată în cadrul acestui departament în grupurile Prelucrarea semnalelor (Prof. Zăciu și Lăzărescu) și Electronică și Informatică Medicală (Prof. Strungaru).

Conform metodologiei CNATDCU, teza de abilitare respecta următoarea structură: I. Rezumatul tezei de abilitare; II. Habilitation Thesis, incluzând realizările științifice și profesionale și planurile de evoluție și dezvoltare a carierei, având trei secțiuni: II.1. Original contributions of major relevance for the field of habilitation, identifying specific directions - care evidențiază contribuțiile originale aduse în domeniul de abilitare, II.2. Evolution of the didactic and scientific research career, revealing the ability to form/direct groups/research teams, and main future development directions and didactic performances – care arată evoluția carierei didactice și de cercetare a autoarei, principalele direcții de dezvoltare și performanțele didactice propuse, și capacitatea de a forma/coordona echipe/teme de cercetare, și II.3 References – incluzând referințele bibliografice asociate primelor două secțiuni.

Activitatea de cercetare desfășurată de autoare a implicat analiza și prelucrarea următoarelor semnale: electromiograma (EMG), polisomnograma (PSG), electroencefalograma (EEG), electrocorticograma (ECoG), electrohisterograma (EHG), semnale plantare, semnale BOLD, fMRI, dar și analiza și prelucrarea imaginilor medicale și extragerea informațiilor medicale.

Contribuțiile în domeniul tezei sunt susținute de coeficientul Hirsch actual ( $h$ -Index = 8, cf. <http://www.researcherid.com/rid/A-5743-2012>) și de publicațiile realizate: cărți și capitole de specialitate în edituri cu ISBN (7), reviste cu factor de impact (10), volumele unor conferințe indexate ISI (33), reviste și volumele unor conferințe indexate BDI (14), lucrările fiind citate de aproape 150 de ori în cărți, reviste și conferințe indexate ISI sau BDI.

În ceea ce privește modelarea semnalelor biomedicale, utilă în evaluarea cantitativă a algoritmilor dezvoltați pentru analiza, prelucrarea și clasificarea semnalelor, a fost propus un model pentru simularea semnalelor abdominale incluzând toate sursele de zgomot, un model pentru simularea datelor EEG, util în clasificarea eficientă a benzilor ritmurilor EEG, o problemă deosebit de importantă în dezvoltarea interfețelor BCI, și un model de testare a ipotezei nule (lipsa unei legături între semnale/variabile/canale) și de determinare a confidenței în estimarea conectivității cerebrale efective.

Contribuții importante au fost aduse și la îmbunătățirea raportului semnal-zgomot

în cazul măsurătorilor medicale, în special prin eliminarea semnalului ECG nedorit (datorită suprapunerii spectrale dintre semnalul de interes și semnalele perturbatoare, filtrarea clasică nu oferă rezultatele dorite, fiind necesară dezvoltarea unor algoritmi complecși pentru extragerea/curățarea semnalelor de interes). A fost propus algoritmul ESC, care elimină eficient și rapid ECG-ul nedorit, neperturbând morfologia semnalelor de interes, morfologie care poate fi apoi analizată pentru diagnosticare (de ex., în cazul detecției sarcinilor cu risc). Algoritmul a fost evaluat teoretic și experimental, considerând atât date simulate cu modelul propus, cât și date reale.

Contribuții importante au fost aduse de asemenea în ceea ce privește extragerea semnalelor de interes prin metode multicanal, fiind propus un algoritm bazat pe ESC și ICA pentru extragerea electrocardiografe fetale din semnale abdominale înregistrate pe abdomenul gravidelor. De asemenea ICA a fost propus ca metodă de preprocesare în aplicațiile BCI, sau care au la bază analiza EEG.

De asemenea, Dna Prof. Neagu (Ungureanu) a adus contribuții importante în aplicarea inteligenței artificiale în prelucrarea și analiza biosemnalelor. A fost propusă o rețea neurală pentru clasificarea semnalelor EMG, precum și algoritmi genetici și rețele neurale pentru aplicațiile BCI.

O altă contribuție semnificativă vizează un domeniu de pionierat, analiza conectivității efective, în special în scopul evidențierii fluxului informațional cerebral, fiind propuse strategii bazate pe indexul Granger al cauzalității și pe coerența parțial direcționată, variante sau invariante în timp.

Contribuția la aplicațiile interfețe creier-mașină, domeniu de pionierat de asemenea, este și ea elocventă, vizând detecția corelatorilor neuronalii optimi, implementarea unor experimente adecvate paradigmatelor vizate și clasificarea eficientă a activităților utilizate în implementarea interfețelor creier-mașină.

O rețea cu autoorganizare combinată cu un algoritm de îmbunătățire a imaginilor este propus pentru segmentarea mamografiilor și un sistem bazat pe cunoștințe este propus pentru administrarea bazelor de date medicale de imagini, care îmbunătățesc sistemele de telemedicină.

Contribuții concludente sunt aduse și în analiza variabilității pulsului, în cazul fătului și al adulților, fiind propuși algoritmi statistici și de analiză în domeniul timp-frecvență pentru analiza hipoxiei fetale și a aritmiei.

Autoarea este profund recunoscătoare tuturor colegilor care au susținut-o de-a lungul carierei, îndeosebi Dnei Prof. Rodica Strungaru, Dlui Prof. Radu Zăciu și Dlui Prof. Dan Alexandru Stoichescu.

## 1.2 Habilitation Thesis Abstract (4000 – 6000 characters).

**(Characters (without spaces) – 4468, Characters (including spaces) – 5117)**

The current habilitation thesis presents the original contributions of Prof. Univ. Georgeta-Mihaela NEAGU (UNGUREANU) in the habilitation domain, in biosignal processing, an interdisciplinary field including signal processing, medical electronics, artificial intelligence and programming, all the contributions being realized after the author obtained the PhD degree (May 2002).

The author is currently University Professor at University POLITEHNICA of Bucharest, Faculty of Electronics, Telecommunications and Information Technology, Applied Electronics and Informatics Engineering Department, being formed within the Signal Processing (Prof. Zaciu și Lăzărescu) and Medical Electronics and Informatics groups (Prof. Strungaru).

According to the CNATDCU methodology (<http://www.cnatdcu.ro/wp-content/uploads/2011/11/Ghid-de-abilitare-2012.pdf>), the habilitation thesis has the following structure: i) Rezumatul tezei de abilitare (thesis abstract); II. Habilitation Thesis, including the scientific and professional achievements and the career development plan, and having three subsections: II.1. Original contributions of major relevance for the field of habilitation, identifying specific directions, II.2. Evolution of the didactic and scientific research career, revealing the ability to form/direct groups/research teams, and main future development directions and didactic performances; II.3 References.

The research activity of Prof. NEAGU (UNGUREANU) involved the signal processing and analysis (the electromyogram (EMG), polysomnogram (PSG), electroencephalogram (EEG), electrocorticogram (ECoG), electrohysterogram (EHG), plantar signals, BOLD, fMRI), the medical images processing and analysis and medical information extraction.

The contributions in the thesis field are supported by the current Hirsch index (8, according to <http://www.researcherid.com/rid/A-5743-2012>) and by the available publications: specialized book (chapters) with ISBN (7), publications in impact factor journals (10), in ISI indexed conference proceedings (33), in journals and conference proceedings indexed in other international databases (BDI), the author's publications being cited about 150 times in books, journals or conference proceedings, indexed ISI or BDI.

Regarding the biosignal modelling, very useful when evaluating the algorithms proposed for signal analysis, processing and classification (diagnosis), a complex model was proposed for the abdominal signals, including all the possible disturbances, a model for EEG simulation, useful in the EEG rhythms identification was developed, and a model to test the null hypothesis (no connection between the analyzed signals/channels/variables) and a model to estimate the confidence tube for the effective connectivity were proposed.

Significant contributions were brought in data denoising, especially when considering the case of removing some (pseudo)periodic disturbances (e.g., ECG) (due to the spectra overlapping, classical filtering techniques are not a good option, being necessary to find out complex noise cancelling/signal extraction algorithms). The ESC algorithm was proposed, which efficiently and fast removes the disturbing ECG, leaving unaffected the signal of interest morphology, which can be therefore further used in diagnosis (e.g., high-risk pregnancy detection, based on the extracted fECG). The algorithm was theoretically and experimentally evaluated, using both simulated and real data.

Important contributions addressed the signal of interest extraction using multichannel models, a strategy that combines the ESC and ICA being proposed to extract the fetal ECG from abdominal signals. ICA was also proposed for EEG based BCI applications.

Prof. Neagu (Ungureanu) brought also important contributions in biosignal processing and analysis by applying the artificial intelligence. A neural network was used for EMG classification, while genetic algorithms and neural networks were developed for BCI applications.

Another substantial contribution addresses the frontier research field of connectivity, especially by the proposed solutions (time variant/invariant Granger causality index and partial directed coherence) to reveal the informational flow within the brain.

The contribution to the brain computer interfaces, another frontier research field, are also valuable, new strategies to detect the neural correlates, optimal experimental setups, and efficient tasks classification algorithms being proposed.

A self organizing map combined with an image enhancement algorithm was proposed for mammograms classification, and Knowledge driven the Information Mining system was applied in medical images databases management/query, being very useful in telemedicine applications.

Considerable contributions are also brought to the heart rate variability analysis, in adults and fetuses, efficient statistical and time-frequency algorithms being proposed for arrhythmia and fetal hypoxia detection

The author is deeply indebted to the colleagues who supported her, especially to Prof. Rodica Strungaru, Prof. Radu Zaciu and Prof. Dan Alexandru Stoichescu.