

## **Raport științific**

*privind implementarea proiectului în perioada noiembrie 2014 – noiembrie 2015*

*Proiect PN-II-ID-PCE-2011-3-0400, "Reprezentări rare în prelucrarea semnalelor"*

### **Rezultate obținute și publicații**

Pentru lectura rapidă a acestui raport, voi descrie la început pe scurt rezultatele obținute și apoi voi prezenta unele detalii tehnice.

În anul 2015 am reușit publicarea a trei articole în reviste ISI, dintre care unul la cea mai bună revistă de prelucrarea semnalelor, IEEE Transactions on Signal Processing. De asemenea, am publicat cinci articole la conferințe ISI, dintre care unul la ICASSP (cea mai importantă conferință în prelucrarea semnalelor) și unul la EUSIPCO (cea bună conferință europeană în prelucrarea semnalelor). În plus, am mai publicat un articol într-o altă revistă.

Un rezultat colateral dar nu lipsit de importanță este teza lui Paul Irofti, cu titlul "Parallel Dictionary Learning Algorithms for Sparse Representations", care va fi susținută public la sfârșitul lunii noiembrie.

Toate rezultatele obținute sunt de natură algoritmică. Articolele se sprijină pe programe scrise în Matlab sau C. Unele din aceste programe sunt disponibile pe site-ul proiectului. Pe celelalte le distribuim la cerere prin email.

### **Direcții de cercetare**

Activitatea de cercetare din 2015 a fost dedicată următoarelor obiective:

- O1.** Proiectarea dicționarelor pentru reprezentări rare și clasificare
- O2.** Proiectarea filtrelor rare adaptive
- O3.** Filtre și polinoame rare. Utilizare în aproximări de funcții pozitive

Primele două fac parte din planul de realizare a proiectului pe 2015, iar al treia este continuarea un obiectiv din 2014.

### **Componenta echipei**

În 2015 echipa a fost formată efectiv din prof. Bogdan Dumitrescu și drd. Paul Irofti. Dr. Cristian Rusu este plecat într-un stagiu post-doc, iar dr. Bogdan Sicleru este în continuare indisponibil din motive de sănătate.

## Descriere tehnică a rezultatelor

Voi detalia în continuare avansurile și rezultatele efective obținute.

**O1.** La această temă au lucrat PI și BD, iar publicațiile relevante sunt [3,4,6-9]. Direcțiile de cercetare abordate au fost următoarele.

1. Impactul algoritmului de reprezentare asupra rezultatului antrenării dicționarelor pentru reprezentări rare [6]. Pornind de la observația că mai mulți algoritmi de antrenare de dicționare folosind Orthogonal Matching Pursuit (OMP) dau rezultate similare pentru anumite probleme, am investigat și alți algoritmi de reprezentare, mai lenți decât OMP, dar cu rezultate potențial superioare. Orthogonal Least Squares (OLS), Projection-Based Orthogonal Matching Pursuit (POMP) și versiunea nou introdusă Projection-Based OLS (POLs), Look-Ahead Orthogonal Least Squares (LAOLS) [CVS12] au fost combinate cu algoritmi de actualizare de atomi din [AEB06], [SBJ13], [SaMa13]. Rezultatele numerice arată că într-adevăr, algoritmi superiori de reprezentare duc la rezultate de antrenare mai bune, deși nu este neapărat clar care combinație este mai bună. Mai interesant, se poate face antrenarea (când viteza de execuție nu e critică) cu un algoritm mai bun, dar utilizarea (când viteza este importantă) cu OMP; noul algoritm POLs aduce beneficiile cele mai mari în această situație.

2. Studiul dicționarelor co-rare [7]. Reprezentările co-rare utilizează atomii din dicționar pentru a descrie un subspațiu ortogonal pe spațiul semnalelor (spre deosebire de reprezentările rare, unde spațiul semnalelor este modelat direct). Lucrarea [7] prezintă un algoritm pentru antrenarea unui dicționar pentru reprezentări co-rare și modalitatea de utilizare a acestuia în cazul dicționarelor compuse din blocuri ortogonale.

3. Studiul dicționarelor compuse [8]. Dicționarele compuse sunt formate din două grupuri de atomi: unul antrenat standard cu semnale de test, înaintea utilizării propriu-zise, și altul antrenat chiar cu semnalele care trebuie prelucrate (de exemplu pentru eliminarea zgomotului). Desigur, pentru al doilea grup este necesar un algoritm rapid, conform restricțiilor de prelucrare. Una din propunerile din [8] este utilizarea unui bloc ortogonal pentru acest al doilea grup, datorită existenței unor algoritmi rapizi de antrenare. Rezultatele obținute sunt mai bune decât cele cu dicționare clasice cu dimensiuni comparabile.

4. Implementări eficiente pentru algoritmi de antrenare de dicționare rare [3,4]. Utilizarea GPU pentru implementarea algoritmilor este contribuția principală a acestor lucrări. Deși, în principiu, paralelismul este relativ ușor de detectat în algoritmi de antrenare, implementarea eficientă nu este neapărat banală. Pe lângă reglarea fină a unor parametri, articolele prezintă rezultatele efective ale implementărilor și câștigurile de viteză obținute, în comparație cu implementarea pe un CPU performant. Creșterea de viteză este de aproximativ 10 ori, ceea ce e un rezultat meritoriu pentru placa GPU utilizată.

5. Deși aparent nu are nicio legătură cu subiectul nostru de cercetare, lucrarea [9], dedicată unei metode robuste de estimare a direcțiilor de sosire (DOA – Direction of Arrival), are ca punct de inspirație pentru rezolvarea unei probleme de robustețe o analiză a direcțiilor atomilor în cazul reprezentărilor rare. Deși problema de plecare este total diferită, rezolvarea ei aproximativă și rapidă se bazează pe similaritatea cu reprezentarea rară pe bază de dicționar.

**O2.** La această temă a lucrat BD împreună cu un colaborator extern, Alexandru Onose, la Universitatea Tehnică din Tampere. Rezultatele sunt [1] și [5]. Ambele lucrări investighează metode adaptive aleatoare de descreștere pe coordonate pentru găsirea soluțiilor rare ale unor sisteme de ecuații liniare. În [1] este tratată problema CMMP standard, iar în [5] problema CMMP totale. Contribuția centrală este o metodă de

modificare adaptivă a probabilităților cu care se aleg coordonatele, astfel încât viteza de convergență să crească. În esență, probabilitățile au două componente: una care asigură echitatea trecerii peste toate coordonatele și alta care dă mai multă importanță coordonatelor corespunzătoare coeficienților nenuli. Au fost demonstrate rezultate referitoare la convergență pentru algoritmul CMMP și sunt în studiu cele referitoare la CMMPT. Au fost obținute rezultate numerice mai bune decât cele cu algoritmi anteriori (e.g. [ABG10], [OD13], [ZN13]).

**O3.** La aceasta tema a lucrat BD, în continuarea unei activități mai vechi a lui BS, care scrisese toate programele relevante. Subiectul principal a fost aproximarea sumelor de exponentiale (SdE) reale pozitive cu polinoame. Au fost sistematizate rezultate anterioare, astfel încât să fie posibilă trimiterea articolului [2].

### **Greutăți întâmpinate și alte informații**

Principala dificultate continuă să fie bugetul redus. Acesta a fost suplimentat la sfârșitul lui octombrie, ceea ce e târziu pentru a avea un real impact asupra ritmului de muncă. Pe de altă parte, cantitatea de timp investită de cei doi membri ai echipei era oricum superioară celei raportate (și plătite). De aceea, suplimentarea vine doar ca o reparație parțială a situației de fapt.

Pagina web dedicată proiectului este <http://www.schur.pub.ro/Idci2011.htm>.

### **Articole publicate în reviste ISI**

[1] A.Onose, B.Dumitrescu - Adaptive Randomized Coordinate Descent for Sparse Systems: Lasso and Greedy Algorithms, *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol.63, no.15, pp.4091-4101, Aug. 2015.

[2] B.Dumitrescu, B.C.Sicleru, F.Avram - Semi-infinite optimization with sums of exponentials via polynomial approximation, *J. Computational and Applied Mathematics*, vol.292, pp.513-525, 2016.

[3] P. Irofti - Efficient Parallel Implementation for Single Block Orthogonal Dictionary Learning, to appear in *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, 2016.

### **Articole publicate în alte reviste**

[4] P. Irofti, Efficient Dictionary Learning Implementation on the GPU Using OpenCL, to appear in *U.P.B. Scientific Bulletin, series C*, 2016.

### **Articole publicate la conferințe (ISI proceedings)**

[5] A.Onose, B.Dumitrescu - Adaptive Cyclic and Randomized Coordinate Descent for the Sparse Total Least Squares Problem, *European Signal Processing Conf. (EUSIPCO)*, Nice, France, Sep. 2015.

[6] P.Irofti, B.Dumitrescu - Overcomplete Dictionary Design: the Impact of the Sparse Representation Algorithm, *Proc. 20th. Int. Conf. on Control Systems and Computer Science*, Bucharest, Romania, May 2015.

[7] P.Irofti, B.Dumitrescu - Cosparsity Dictionary Learning for the Orthogonal Case, *19th. Int. Conf. System Theory, Control and Computers*, Cheile Gradistei, Romania, Oct. 2015.

[8] P. Irofti - Sparse Denoising with Learned Composite Structured Dictionaries, *19th. Int. Conf. System Theory, Control and Computers*, Cheile Gradistei, Romania, Oct. 2015.

[9] B.Dumitrescu, C.Rusu, I.Tabus, J.Astola - Low-complexity robust DOA estimation, *Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing (ICASSP)*, Brisbane, Australia, Apr. 2015.

## Bibliografie

[AEB06] M. Aharon, M. Elad, A. Bruckstein, K-SVD: An Algorithm for Designing Overcomplete Dictionaries for Sparse Representation, *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol.54, no.11, pp. 4311-4322, Nov. 2006.

[ABG10] D. Angelosante, J. A. Bazerque, and G. B. Giannakis, "Online adaptive estimation of sparse signals: where RLS meets the l1-norm," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 58, no. 7, pp. 3436-3447, Jul. 2010.

[CVS12] S. Chatterjee, M. Vehkaperä, and M. Skoglund, "Projection-Based and Look-Ahead Strategies for Atom Selection," *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol. 60, no. 2, pp. 634-647, Feb. 2012.

[OD13] A. Onose and B. Dumitrescu, "Adaptive matching pursuit using coordinate descent and double residual minimization," *Signal Process.*, vol. 93, no. 11, pp. 3143-3150, 2013.

[SaMa13] S. K. Sahoo and A. Makur, "Dictionary training for sparse representation as generalization of K-Means clustering," *Signal Processing Letters, IEEE*, vol. 20, no. 6, pp. 587-590, June 2013.

[SBJ13] M. Sadeghi, M. Babaie-Zadeh, and C. Jutten, "Dictionary Learning for Sparse Representation: a Novel Approach," *IEEE Signal Proc. Letter*, vol. 20, no. 12, pp. 1195-1198, Dec. 2013.

[ZN13] Y. V. Zakharov and V. H. Nascimento, "DCD-RLS adaptive filters with penalties for sparse identification," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 61, no. 12, pp. 3198-3213, Jun. 2013.

Director proiect,  
Prof. Bogdan Dumitrescu

