

Raport stiintific

privind implementarea proiectului in perioada octombrie 2011 – octombrie 2013

Proiect PN-II-ID-PCE-2011-3-0400, “Reprezentari rare in prelucrarea semnalelor”

Rezultate obtinute si publicatii

Pentru lectura rapida a acestui raport, voi descrie la inceput pe scurt rezultatele obtinute si apoi le voi prezenta cu unele detalii tehnice.

Pana la momentul current (octombrie 2013), din activitatea de cercetare desfasurata in cadrul proiectului, au rezultat publicatiile [1-10], anume 6 articole in reviste cotate ISI si 4 articole la conferinte. Revistele in care am reusit publicarea sunt prestigioase: Signal Processing, IEEE Signal Processing Letters, Linear Algebra and Its Applications, Optimization and Engineering. Articolele de conferinta au fost prezentate la conferinta europeana cea mai importanta in prelucrarea semnalelor, EUSIPCO (indexata ISI). Mentionez ca articolul [4] a fost realizat in buna masura (sa zicem 80%) in cadrul unui proiect Idei anterior.

De asemenea, in ultimele luni, a fost trimis spre publicare inca un articol de revista si sunt in pregatire doua articole la conferinte care vor fi trimise pana la sfarsitul anului. Deocamdata nu voi da titlurile si destinatia articolelor, dar informatii despre continutul lor vor fi mentionate in partea rezervata descrierii tehnice.

Directii de cercetare

In propunerea de proiect au fost specificate patru directii de cercetare:

- O1.** Proiectarea filtrelor rare
- O2.** Problema celor mai mici patrate totala rara (sparse total least squares)
- O3.** Filtrare rara distribuita
- O4.** Clasificare cu predictorii rari

Directiile in care am avut rezultate sunt O1, O2 si O4, cea din urma intr-o forma extinsa la proiectarea dictionarelor pentru reprezentari rare. Tema O2 este practic inchisa in acest moment, dar a produs articolul [3]. Succesul obtinut in directia O4 a inspirat deturnarea directiei O3 inspre proiectarea de algoritmi paraleli pentru antrenarea dictionarelor, cu ajutorul statiei grafice achizitionate in 2012.

Descriere tehnica a rezultatelor

Voi detalia in continuare avansurile si rezultatele efective obtinute. Membrii echipei (Bogdan Dumitrescu, Bogdan Sicleru, Cristian Rusu) vor fi numiti prin initialele lor.

O1. La aceasta tema au lucrat toti membrii echipei. Pornind de la ideea generala de filtru rar, am dezvoltat mai multe rezultate.

1. Filtrele FIR cu s coeficienti diferiti de zero pot avea caracteristici de frecventa mai bune decat filtre cu lungime s (cu ordin minim), iar complexitatea implementarii lor este similara. Ele au intarzierea de grup mai mare, dar in multe aplicatii acest dezavantaj este neglijabil. CR si BD au studiat algoritmi pentru proiectarea de filtre rare folosind metoda L1 reponderata iterativ, urmata de eliminarea unul cate unul a coeficientilor celor mai mici. Pentru filtre FIR cu o singura variabila, rezultatele obtinute au fost doar usor superioare celor din [BWO10]. In schimb, pentru filtre 2D am obtinut rezultate mult mai bune decat in [LuHi11]. Articolul a fost publicat de revista Signal Processing [1].
2. O problema conexa, concretizata in [7] (BS+BD), a fost proiectarea bancurilor de filtre rare 2-D prin metoda transformarii de variabile [TK93], care permite un compromis intre complexitatea implementarii si calitatea raspunsului in frecventa al filtrului obtinut. Fiecare filtru al bancului este implementat ca o combinatie intre un filtru simplu 1D si un filtru 2D, numit de transformare, cu o anume structura. Noi am urmarit obtinerea unui filtru rar de transformare. Metoda cea mai eficienta a fost cea lacoma (greedy), prin care cel mai mic coeficient al filtrului de transformare este fixat la zero, apoi optimizarea continua pentru ceilalti coeficienti. Se pot astfel obtine filtre rare care au energia in banda de oprire mai mica decat a filtrelor pline.
3. Tot BS si BD au investigat problemei factorizarii spectrale rare, in care se da o secventa de autocorelatie rara si se doreste gasirea unui factor spectral rar. In general, doar un factor spectral este rar (si eventual transformari simple ale lui). Metoda propusa se bazeaza pe o parametrizare a polinoamelor nenegative rare prin matrice pozitive semidefinite cu dimensiune redusa. In multe cazuri, problema de programare semidefinita corespunzatoare factorizarii spectrale, care are ca scop minimizarea rangului matricei asociate secventei de autocorelatie, produce matrice cu rangul 1 din care se poate obtine polinomul. Rezultatele, superioare celor din [LV11,JOH12], au fost prezentate intr-o lucrare de conferinta [9].
4. In 2013, am abordat o alta directie, care a dus la consecinte total neprevazute, dar cu potential mare de viitor. Am pornit de la problema modelarii unor semnale prin sume de exponentiale (SdE) reale. In anumite conditii, o astfel de suma este similara unui polinom rar, deci intrudita cu problema filtrelor FIR rare. Pentru obtinerea unor SdE rare se poate porni de la SdE cu exponentii in progresie aritmetica si aplica metode tipice pentru inducerea raritatii. Problemele cu adevarat interesante apar atunci cand se doreste asigurarea pozitivitatii modelului SdE obtinut, in conditii generale. Aceasta este util de exemplu cand se modeleaza o densitate de probabilitate (problema tipica in statistica). Un alt exemplu este in aplicarea unor restrictii in domeniul timp in proiectarea, ca de pilda in proiectarea filtrelor IIR cu raspuns nenegativ la impuls. Metoda pe care o propunem se bazeaza pe aproximarea functiei exponentiale cu polinoame, pe portiuni. Aproximatia pastreaza convexitatea problemei de optimizare. Rezultatele obtinute au condus la scrierea unui articol trimis la o revista si a unui altuia in pregatire pentru o conferinta.

02. Problema celor mai mici patrate totale (CMMPT) rara este un subiect foarte actual, mai multe lucrari recente tratand diverse forme ale ei [HS10,ZLG11], fara a mentiona neaparat explicit apartenenta la acest tip de problema. BD a obtinut o conditie teoretica ce caracterizeaza situatia in care solutiile problemelor CMMP si CMMPT rare au acelasi suport de dimensiune s . Conditia este exprimata in functie de constantele de izometrie restransa ale matricei sistemului si de unghiul minim intre subspatii de dimensiune s formate de coloanele matricei. Nu exista un rezultat similar in literatura de specialitate. De asemenea, au fost

propusi cativa algoritmi lacomi, care in multe cazuri gasesc o solutie mai apropiata de cea reala decat algoritmul din [ZLG11]. Rezultatele au fost publicate in [3].

O3. Tema nu a fost abordata inca si probabil nu va mai fi inceputa. Totusi, calculul paralel isi pastreaza locul in proiect, printr-un subiect conex temei O4, anume proiectarea algoritmilor de antrenare a dictionarelor pentru reprezentari rare pe GPU (placa grafica). De aceasta se ocupa BD impreuna cu un doctorand al sau, Paul Irofti (neplatit). Pana acum n-au fost obtinute rezultate notabile, dar avem o implementare paralela a algoritmului K-SVD [AEB06], care poate constitui un punct de plecare pentru paralelizarea unora din algoritmi creati in cadrul acestui proiect.

O4. De aceasta tema se ocupa CR, a carui teza de doctorat a fost dedicata proiectarii dictionarelor pentru reprezentari rare, si BD. Aici au fost obtinute cele mai multe rezultate, poate si datorita actualitatii problemelor.

1. Un algoritm pentru antrenarea de dictionare cu dimensiune mica, descris in [2], este unul din cele mai semnificative rezultate obtinute in acest proiect. Algoritmul construiește dictionarul prin adaugarea de atomi alesi dintre cei mai prost reprezentati vectori de antrenare, urmata de cativa pasi in stil K-SVD de antrenare a dictionarului. Adaugarea si reantrenarea se repeta pana cand dictionarul satisface o eroare de reprezentare impusa. Deoarece se lucreaza cu dictionare mici, cel puțin in fazele de inceput, algoritmul este relativ rapid, cu timp total comparabil cu cel al K-SVD. Mai important, dimensiunea dictionarului este cu 30-50% mai mica decat cea a dictionarului antrenat direct cu K-SVD. In acest fel, viteza aplicatiilor care folosesc dictionarele creste semnificativ, deoarece timpul de calcul al unei reprezentari este (cel puțin) proportional cu dimensiunea dictionarului.
2. Un rezultat interesant a fost obtinut intr-un domeniu conex proiectarii de dictionare pentru reprezentari rare, anume obtinerea de matrice cat mai incoerente, aceasta insemnand ca produsul scalar intre orice doua coloane ale matricei este cat mai mic. Aceste matrice, sau cadre grassmaniene, sunt utile si in alte zone, de exemplu comunicatii [TaKim02]. Ideea de baza este de a porni de la o matricea aleatoare cu elemente normal distribuite, care are proprietati bune de incoerenta in medie, si de a aplica apoi o procedura iterativa de crestere a incoerentei. In fiecare iteratie se minimizeaza produse scalare intre coloanele matricei cautate si cele ale matricei de la pasul anterior, rezultand astfel o problema de programare liniara. Desi procedura este relativ lenta pentru dimensiuni mari, ea produce rezultate mai bune decat cele obtinute in [TKK12] (cele mai bune in momentul respectiv), apropiindu-se de limita Welch pentru valoarea maxima a incoerentei. Rezultatele au fost publicate in [5].
3. O directie de cercetare cu potential mare este antrenarea dictionarelor structurate. Am studiat cazul in care dictionarul este format din matrice circulante. Un astfel de dictionar rezolva din start problema variantei la deplasari ale datelor, fiind insensibil la acestea deoarece cuprinde explicit toate versiunile deplasate ale unui semnal. Dificultatea majora a fost obtinerea unui algoritm eficient de proiectare, atat in timp cat si ca precizie a implementarii. Folosind proprietati ale matricelor circulante, ale caror produs cu un vector poate fi exprimat cu FFT, si o procedura iterativa de antrenare, in care fiecare matrice circulanta este imbunatatita separat, am obtinut rezultate excelente, mai bune decat in [SHA06,Bart12]. Articolul rezultat este [6].
4. Simplificarea setului de antrenare pentru optimizarea dictionarelor pentru reprezentari rare cu ajutorul algoritmului K-SVD [AEB06] este utila pentru a reduce durata mare de antrenare necesitata

de algoritmul K-SVD atunci cand numarul vectorilor de antrenare depaseste cateva zeci de mii. Algoritmul propus in [8] se bazeaza pe gruparea vectorilor de antrenare in clustere si utilizarea algoritmului K-SVD folosind un singur reprezentant al fiecarui cluster. Gruparea in clustere se face utilizand doar produse scalare si un proces iterativ de grupare. Algoritmul rezultat este mult mai rapid decat K-SVD iar eroarea de reprezentare cu dictionarul astfel obtinut este comparabila cu cea a dictionarului dat de K-SVD.

5. Antrenarea dictionarelor formate din matrice ortogonale, in care reprezentarea unui vector de antrenare se face intr-o singura astfel de matrice, este o idee noua. Chiar daca dictionarele obtinute au dimensiune mare, reprezentarea este extrem de rapida, batand chiar algoritmi rapizi ca OMP, in conditiile unor erori de reprezentare egale. Am demonstrat practic ca se pot obtine reprezentari mai rapide decat in dictionare nestructurate. Rezultatele au fost publicate in [10].
6. Daca in [2] am propus o procedura completa in pentru proiectarea de dictionare cu numar mic de atomi, o noua incercare este dezvoltarea unui algoritm rapid care sa produca o buna initializare pentru algoritmi consacratii precum K-SVD. Procedura porneste de la un dictionar incoerent obtinut cu [5] si elimina o parte din atomii lui. Apoi se adauga atomi pornind de la vectorii de antrenare cel mai prost reprezentati. O lucrare pe aceasta tema va fi trimisa la o conferinta.

Greutati intampinate si alte informatii

In mod evident, principala dificultate a fost reducerea bugetului de anul acesta. Incertitudinile financiare au contribuit la decizia lui Cristian Rusu de a pleca in Italia la un postdoc. El a parasit oficial echipa proiectului de la 1 octombrie dar continuam colaborarea. In conditiile reducerii de anul acesta, nu pot fi atat de optimist in privinta nivelului de finantare viitoare incat sa angajez de acum un alt cercetator. Voi face asta doar cand va fi confirmat bugetul pe 2014, daca vor fi bani suficienti pentru angajare. (Un candidat este doctorandul care lucreaza la proiectarea de algoritmi paraleli, cu speranta sa-si mentina motivatia intacta...)

Pagina web dedicata proiectului este <http://www.schur.pub.ro/Idei2011.htm>.

Articole publicate sau acceptate in reviste ISI

[1] C.Rusu, B.Dumitrescu – Iterative Reweighted l_1 Design of Sparse FIR Filters, Signal Processing, vol.92, no.4, pp.905-911, Apr. 2012.

[2] C.Rusu, B.Dumitrescu – Stagewise K-SVD to Design Efficient Dictionaries for Sparse Representations, IEEE Signal Processing Letters, vol.19, no.10, pp.631-634, Oct. 2012.

[3] B.Dumitrescu – Sparse Total Least Squares: Analysis and Greedy Algorithms, Linear Algebra and its Applications, vol.438, no.6, pp.2661-2674, Mar. 2013.

[4] B.C.Sicleru, B.Dumitrescu - POS3POLY - a MATLAB Preprocessor for Optimization with Positive Polynomials, Optimization and Engineering, vol.14, no.2, pp.251-273, 2013.

[5] C. Rusu - Design of incoherent frames via convex optimization, IEEE Signal Processing Letters, vol.20, no.7, pp. 673-676, July 2013.

[6] C. Rusu, B. Dumitrescu, S. Tsaftaris - Explicit shift-invariant dictionary learning, IEEE Signal Processing Letters, vol.21, no.1, pp.6-9, Jan. 2014.

Articole publicate la conferinta

[7] B.C.Sicleru, B.Dumitrescu – Least-Squares Design of 2-D Sparse Nonseparable Filter Banks Using Transformation of Variables: a Greedy Approach, EUSIPCO, Bucharest, Romania, pp. 76-80, Aug. 2012.

[8] C.Rusu – Clustering Before Training Large Datasets - Case Study: K-SVD, EUSIPCO, Bucharest, Romania, pp. 2188-2192, Aug. 2012.

[9] B.C.Sicleru, B.Dumitrescu - Greedy Sparse Spectral Factorization Using Reduced-Size Gram Matrix Parameterization, EUSIPCO, Marrakech, Morocco, Sep. 2013.

[10] C.Rusu, B.Dumitrescu - Block Orthonormal Overcomplete Dictionary Learning, EUSIPCO, Marrakech, Morocco, Sep. 2013.

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.

[Bart12] Q. Barthelemy, A. Larue, A. Mayoue, D. Mercier and J. I. Mars, “Shift & 2D Rotation Invariant Sparse Coding for Multivariate Signals”, IEEE Tran. Signal Proc., vol. 60, no. 4, pp. 1584–1611, 2012.

[HS10] M. Herman, T. Strohmer, “General Deviants: An Analysis of Perturbations in Compressed Sensing”, IEEE J. Sel. Topics Signal Proc., vol.4, no.2, pp.342–349, 2010.

[JOH12] K. Jaganathan, S. Oymak, and B. Hassibi, “Phase retrieval for sparse signals using rank minimization,” in Proc. Int. Conf. Acc. Speech and Sign. Proc. (ICASSP), Kyoto, Japan, March 2012, pp. 3449–3452.

[LV11] Y.M. Lu and M. Vetterli, “Sparse spectral factorization: unicity and reconstruction algorithms,” in Proc. Int.Conf. Acc. Speech and Sign. Proc. (ICASSP), Prague, Czech Republic, May 2011, pp. 5976–5979.

[SHA06] K. Skretting, J. Husoy and S. Aase, “General design algorithm for sparse frame expansions”, Signal Process., vol. 86, pp. 117–126, 2006.

[TaKim02] V. Tarokh and I.-M. Kim, “Existence and construction of noncoherent unitary space-time codes,” IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 48, pp.3112–3117, 2002.

[TKK12] E. Tsiligianni, L. Kondi, and A. Katsaggelos, “Use of tight frames for optimized compressed sensing,” in EUSIPCO, Bucharest, Romania, pp. 1439–1443, 2012.

[ZLG11] H. Zhu, G. Leus, G. Giannakis, “Sparsity-Cognizant Total Least-Squares for Perturbed Compressive Sampling”, IEEE Trans. Signal Proc., vol.59, no.5, pp. 2002–2016, May 2011.

Director proiect,

Prof. Bogdan Dumitrescu

