

Dezvoltarea cadrului conceptual-teoretic in domeniul algoritmilor adaptivi utilizati in contextul sistemelor ANC multi-canal

- Sinteză -

Fenomenul de zgomot este prezent in sistemele de comunicatii actuale sub diverse forme. In comunicatiile pe linie telefonica, partenerii de conversatie pot vorbi dintr-un mediu afectat de zgomot ambiental (ex: cazul telefoanelor publice). In mod similar, telefonica mobila permite utilizatorilor sa poarte convorbiri aflandu-se teoretic in orice locatie (sub aria de acoperire), astfel incat diverse tipuri de zgomot pot fi prezente. Chiar si in cazul sistemelor de teleconferinta, ce se desfasoara de obicei in incaperi atent monitorizate din punct de vedere acustic, o serie de dispozitive aflate in incaperea respectiva (ex: instalatii de incalzire sau ventilatie, aparate de aer conditionat) contribuie la cresterea nivelului de zgomot de fond. In plus, aparitia fenomenului de zgomot nu se datoreaza exclusiv unor factori de natura acustica. De exemplu, in cazul comunicatiilor pe linia telefonica fixa, este prezent zgomotul datorat circuitelor electrice din retea, ce poate de asemenea afecta calitatea comunicatiei.

Testele de evaluare subiectiva a calitatii comunicatiilor de voce au aratat ca in cazul in care nivelul de zgomot este redus sau moderat, utilizatorii sunt destul de toleranti in ceea ce priveste calitatea comunicatiei. Pe masura insa ce nivelul de zgomot creste (descreste raportul semnal pe zgomot), utilizatorii devin mai putin toleranti, dar si mai putin atenti la materialul audio respectiv. Acest fenomen este cunoscut sub denumirea de *obosirea utilizatorului*. Atunci cand raportul semnal pe zgomot descreste foarte mult (ex: sub 10 dB) este afectata nu numai calitatea, dar si inteligibilitatea comunicatiei.

Chiar si in situatia unor comunicatii de voce efectuate intr-un mediu cu zgomot ambiental redus pot aparea probleme, in cazul in care aplicatia respectiva este de tip multi-canal. De exemplu, in cazul unei teleconferinte cu mai multi participanti, zgomotul de fond preluat de microfonul dintr-o locatie se combina aditiv cu zgomotul de fond prezent in celelalte locatii, astfel incat difuzorul unui participant la teleconferinta va reproduce suma tuturor zgomotelor

prezente la ceilalti participanti. Aceasta problema devine cu atat mai stringenta cu cat numarul de participanti creste. Sa consideram cazul unei teleconferinte cu 3 participanti, fiecare dintre ei afectat de un zgomot stationar si independent, de putere P . Fiecare difuzor va receptiona zgomot din celelalte doua locatii, rezultand astfel un zgomot de putere $2P$, sau cu 3 dB mai mare decat in situatia in care comunicatia s-ar fi desfasurat doar intre doi parteneri. Generalizand, in cazul unei teleconferinte cu N participanti, fiecare dintre ei va receptiona un zgomot mai mare cu $10\log(N - 1)$ dB fata de P . De exemplu, daca sunt 10 locatii diferite, nivelul zgomotului receptionat de fiecare partener este cu aproximativ 10 dB mai mare decat in cazul unei comunicatii cu doua locatii. Aceasta crestere de 10 dB se poate traduce la nivel perceptual auditiv intr-o dublare a nivelului de zgomot perceput (fata de cazul cu doua locatii). In aceasta situatie, avantajele metodelor de reducere a zgomotului sunt evidente.

In prezent, tehnicile de reducere a zgomotului sunt prezente intr-o varietate larga de produse comerciale cum ar fi telefoanele mobile, dispozitivele de comunicatii cu maini libere (hands-free), sistemele de tele/video-conferinta, compensatoarele de ecou acustic, protezele auditive etc.

O serie de metode au fost propuse de-a lungul timpului in scopul reducerii zgomotului ce afecteaza comunicatiile de voce. Printre acestea putem enumera filtrarea Wiener clasica (statica); filtrarea dinamica de tip pieptane (*comb*), in care un filtru liniar este adaptat astfel incat sa lase sa treaca doar componentele armonice derivate din componenta fundamentala (*pitch*) a semnalul vocal [1]; modelarea dinamica a semnalului vocal pe baza modelelor auto-regresiv (AR) sau auto-regresiv cu medie mobila (ARMA) [1], in care coeficientii modelului sunt estimati pe baza semnalului afectat de zgomot; tehnici de modelare spectrala pe termen scurt, in care amplitudinea componentelor transformatei Fourier pe termen scurt sunt atenuate la frecventele la care semnalul vocal este absent (presupune in general prezenta detectoarelor de activitate vocale) [2]; modelarea Markov ascunsa [3], tehnica ce implica modelarea semnalului vocal pe baza unor modele variabile in timp, cu coeficienti depinzand de probabilitatea de tranzitie dintre starile modelului. Toate aceste metode au insa in comun faptul ca opereaza asupra unui singur canal ce contine semnalul util afectat de zgomot. Ele fac parte din categoria de tehnici oarbe (*blind*), in sensul ca algoritmi respectiv au ca intrare doar semnalul afectat de zgomot. Prin urmare, in scopul imbunatatirii raportului semnal pe zgomot, acesti algoritmi trebuie sa separe un estimat al semnalului util, respectiv un estimat al zgomotului. In cazul unei aplicatii multi-canal,

metodele respective sunt inlocuite de tehnici de compensare adaptiva a zgomotului, in combinatie cu sisteme de microfoane cu lobi programabili (*beamforming*) [4]. Aceste ultime tehnici constituie aria de preocupare in cadrul proiectului. Motivatia este legata in primul rand de ponderea si impactul aplicatiilor de tip multi-canal in sistemele de comunicatii actuale.

In acest cadru, sistemele de control activ al zgomotului (*ANC – active noise control*) [5] constituie un subiect major al cercetarilor din domeniu. Aceste sisteme functioneaza pe principiul reducerii interferentei dintre un camp sonor perturbator (primar), preluat de catre un numar de senzori (microfoane) si un al doilea camp sonor (secundar) generat de catre un numar de difuzoare. Dispozitivele de control si totodata blocurile cheie din cadrul unei astfel de structuri sunt reprezentate de catre filtrele adaptive, ce au rolul identificarii cailor acustice dintre sursele respective. Problema care apare in acest moment este legata de intarzierile introduse de caile acustice, ce influenteaza decisiv performantele filtrelor adaptive. Cresterea intarzierii conduce la scaderea vitezei de convergenta a algoritmului adaptiv, deoarece pasul de adaptare va fi redus, iar acest lucru conduce totodata si la scaderea capacitatii de urmarire a algoritmului. Pentru evitarea acestei probleme in contextul sistemelor ANC, a fost propusa o forma modificata a schemei de baza, denumita structura de filtrare-x (sau structura de compensare a intarzierii) [6], ce se bazeaza pe utilizarea unui model al caili acustice, ce permite controlul intarzierilor introduse. Ulterior, o serie de algoritmi adaptivi au fost dezvoltati pentru aceasta structura modificata, cel mai cunoscut fiind algoritmul FX-LMS (*filtered-x least-mean-square*) [6]. Dezavantajul sau principal il reprezinta insa viteza de convergenta redusa, in special in cazul sistemelor multi-canal de banda larga. O varianta a acestui algoritm, denumita MFX-LMS (*modified FX-LMS*) a fost analizata in [7]. Pentru aplicatiile de tip ANC multi-canal, viteza sa de convergenta ramane insa nesatisfacatoare. Recent, o categorie de algoritmi adaptivi rapizi bazati pe proiectii afine (*FAP – fast affine projection*) au fost analizati in contextul sistemelor ANC multi-canal [8], [9]. Acesti algoritmi ofera o solutie de compromis avantajoasa intre viteza de convergenta (superioara algoritmilor de tip LMS) si complexitatea aritmetica implicata. Chiar daca din punct de vedere al vitezei de convergenta sunt inferior algoritmilor bazati pe optimizarea in sensul celor mai mici patrate (*LS – least squares*), algoritmi FAP compenseaza printr-o complexitate aritmetica mai redusa si printr-o mai buna stabilitate numerica comparativ cu algoritmi de tip LS.

Exista insa o serie de probleme de natura numerica ale algoritmilor FAP, ce le limiteaza deocamdata utilizarea la scara larga in aplicatiile ANC multi-canal. Structura matematica a acestor algoritmi implica rezolvarea unui sistem de ecuatii liniare. Numarul ecuatiilor este dat de ordinul de proiectie afina al algoritmului. Principial, daca acest numar este egal cu 1 atunci se ajunge la un algoritm de tip NLMS (*normalized LMS*), iar daca este egal cu lungimea filtrului, ne apropiem de algoritmul RLS (*recursive least squares*). Desigur, marirea ordinului proiectiei va conduce la cresterea vitezei de convergenta, dar si la cresterea complexitatii aritmetice a algoritmului. De obicei ordinul de proiectie (ce da numarul de ecuatii), este mult mai mic decat lungimea filtrului. In special in aplicatiile din domeniu acustic, filtrele adaptive utilizate au lungimi foarte mari (de ordinul sute de coeficienti) si prin urmare alegerea unui ordin mare de proiectie afina conduce la o solutie triviala din punct de vedere al complexitatii numerice. Rezolvarea acestui set de ecuatii liniare din cadrul algoritmului FAP presupune insa utilizarea unui algoritm de tip LS, de obicei de tip rapid (*fast LS*), ce poate conduce insa la probleme de instabilitate numerica specifice, in special in cazul multi-canal [8], [9].

Din acest motiv, o serie de solutii alternative au fost investigate in ultimul timp, in scopul eliminarii procedurii de tip LS din cadrul algoritmilor FAP. Metoda Gauss-Seidel constituie o solutie foarte viabila in acest sens [10]. Combinatia acestei metode cu algoritmul FAP si adaptarea sa pentru sistemele ANC multi-canal a condus la dezvoltarea algoritmului MFX-GSFAP (*modified filtered-x Gauss-Seidel FAP*) [9], propus chiar de unul dintre membrii echipei noastre de cercetare. Comparativ cu solutia bazata pe algoritmii de tip LS, acest algoritm obtine o complexitate aritmetica mai redusa si o stabilitate numerica imbunatatita, pastrand in acelasi timp viteza de convergenta superioara. Ulterior, in scopul reducerii complexitatii aritmetice, acelasi autor introduce utilizarea proiectiilor pseudo-afine (*PAP – pseudo-affine projection*) in cadrul algoritmilor propusi anterior, rezultand o noua familie de algoritmi denumiti GS-PAP (*Gauss-Seidel pseudo-affine projection*) [11]. Adaptarea acestor algoritmi pentru sistemele ANC multi-canal a fost recent prezentata in [12]. Problema ce ramane insa deschisa este legata de faptul ca acesti algoritmi necesita o operatie de inversare a unei matrice, care pe langa complexitatea aritmetica implicata poate constitui si o sursa de erori numerice. Prin urmare, imbunatatirea performantelor acestor algoritmi, din punct de vedere al complexitatii aritmetice si stabilitatii numerice constituie o preocupare deosebit de actuala in contextul domeniului de cercetare vizat.

Bibliografie

- [1] S.L. Gay, J. Benesty (ed.), Acoustic Signal Processing for Telecommunication, Kluwer Acad. Publ., Massachusetts, 2000.
- [2] B.L. Sim, Y.C. Tong, J.S. Chang, A parametric formulation of the generalized spectral subtraction method, IEEE Trans. Speech Audio Process, vol. 6, no. 7, July 1998.
- [3] H. Sameti, H. Sheikhzadeh, Li Deng, HMM-based strategies for enhancement of speech signals embedded in nonstationary noise, IEEE Trans. Speech Audio Process, vol. 6, no. 9, Sep. 1998.
- [4] J. Benesty, Y. Huang (ed.), Adaptive Signal Processing: Applications to Real World Problem, Springer, Germany, 2003.
- [5] S.J. Elliot, P.A. Nelson, Active noise control, IEEE Signal Process. Mag., vol. 10, no. 4, pp. 12-35, Oct. 1993.
- [6] E. Bjarnason, Active noise cancellation using a modified form of the filtered-x LMS algorithm, Proc. EUSIPCO'92, Brussels, Belgium, vol. 2, pp. 1053-1056, Aug. 1992.
- [7] M. Bouchard, S. Quednau, Multichannel recursive least-squares algorithms and fast-transversal-filter algorithms for active noise control and sound reproduction systems, IEEE Trans. Speech Audio Process, vol. 8, no. 9, pp. 606-618, Sep. 2000.
- [8] M. Bouchard, Multichannel affine and fast affine projection algorithms for active noise control and acoustic equalization systems, IEEE Trans. Speech Audio Process, vol. 11, no. 1, pp. 54-60, Jan. 2003.
- [9] M. Bouchard, F. Albu, The Gauss-Seidel fast affine projection algorithm for multichannel active noise control and sound reproduction systems, Int. Journal Adapt. Control Signal Process., Special Issue Adaptive Control Sound and Vibration, vol. 19, no. 2-3, pp. 107-123, Mar.-Apr. 2005.
- [10] R. Barret et al., Templates for the Solutions of Linear Systems: Building Blocks for Iterative Models, 2nd ed., SIAM, Philadelphia, 1994.
- [11] F. Albu, M. Bouchard, The Gauss-Seidel pseudo-affine projection algorithm and its application for echo cancellation, Proc. Asilomar, Pacific Grove, CA, vol. 2, pp. 1303-1306, Nov. 2003.
- [12] F. Albu, M. Bouchard, Y.V. Zakharov, Pseudo-affine projection algorithms for multichannel active noise control, IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 15, no. 3, pp. 1044-1052, Mar. 2007.

DIRECTOR PROIECT,

S.I. dr. ing. Constantin PALEOLOGU